



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO REKLAMNÍ PŘEDMĚT

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: **Bc. Martina Češková**

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina Češková**
Osobní číslo: **S15000313**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Konstrukce vstřikovací formy pro reklamní předmět**
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše poznatků v oblasti konstrukce vstřikovacích forem.
2. Návrh dílu pro konstrukční návrh vstřikovací formy.
3. Simulace procesu vstřikování.
4. Konstrukce vstřikovací formy dle bodu 2, 3.
5. Diskuse výsledků a závěr.

Rozsah grafických prací: **grafy, tabulky, obrázky**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] ŠAFAŘÍK M. *Nástroje pro tváření kovů a plastů I. /skripta / VŠST Liberec, 1987.*
- [2] STOECKHERT, K. *Mold-Making Handbook*, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [3] GASTROW, H. *Injection Moulds, 130 Proven design*, Hanser, 2002.
- [4] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Dostupné na www.etul.publi.cz, 2015. ISBN Android: 978-80-88058-64-9.*

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **1. dubna 2018**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.


Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: *23.5.2014*

Podpis: 

KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO REKLAMNÍ PŘEDMĚT

Anotace

Tato práce se zabývá konstrukcí dílů a forem pro technologii vstřikování, zejména zásadami návrhu dílů pro vstřikování, obecným postupem návrhu formy a jejích jednotlivých součástí. Popisuje strukturu a použití termoplastických elastomerů. Teoretické znalosti aplikuje na reálný příklad konstrukce vstřikovací formy pro reklamní předmět.

Klíčová slova

Technologie vstřikování, návrh dílu pro vstřikování, konstrukce vstřikovací formy

INJECTION MOULD DESIGN FOR A PROMOTIONAL ITEM

Annotation

This thesis is focused on injection mould and product design, particularly on injection mould product design principles, general sequence of injection mould design and design of every part. It describes structure and usage of thermoplastic elastomers. Theoretical knowledge is applied on a concrete example of injection mould design for promotional item.

Key words

Injection moulding, injection moulding product design, injection mould design

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi věnoval, Ing. Pavlu Brdlíkovi, Ph.D. za seznámení se simulačním software Sigmasoft 5.1 a Ing. Jiřímu Habrovi, Ph.D. za pomoc při nastavení vstřikovacího stroje. Dále bych chtěla poděkovat firmě KRAIBURG Holding GmbH & Co. KG za poskytnutí materiálu pro vstřikování. Poděkování patří také mým rodičům za podporu během celého studia.

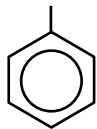
OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [1] [2]	12
2 ZÁSADY NÁVRHU DÍLU PRO VSTŘIKOVÁNÍ [3] [4] [5]	14
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA [4] [6] [7] [9]	17
3.1 Obecný postup návrhu formy [4]	20
3.2 Vtokový systém [1] [11]	21
3.2.1 Studený vtokový systém [3] [4] [6] [11]	22
3.2.2 Horký vtokový systém [4] [11]	26
3.3 Temperační systém [4] [5] [19]	30
3.4 Vyhazovací systém [4] [5] [20]	34
3.4.1 Mechanický vyhazovací systém	35
3.4.2 Pneumatický vyhazovací systém	36
3.4.3 Hydraulický vyhazovací systém	37
3.4.4 Robotické vyjímání dílů	38
3.5 Odvzdušnění [5] [23]	38
3.6 Rám a ostatní normalizované prvky [21] [24]	40
4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY [26] [27] [28] [29]	42
5 PRAKTICKÁ ČÁST	45
5.1 Návrh předmětu	45
5.2 Volba materiálu	49
5.3 Použitý vstřikovací stroj	50
5.4 Konstrukce tvarové desky pro navržený díl	52
5.4.1 Násobnost formy	54
5.4.2 Vtokový systém	54
5.4.3 Ověření návrhu v simulačním software Sigmasoft 5.1 [36]	55

5.5	Volba materiálu a výroba tvárníku	61
5.6	Proces vstřikování	62
6	ZÁVĚR.....	64
	POUŽITÁ LITERATURA	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	69
	SEZNAM TABULEK.....	71

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

r	poloměr
h	výška
3D	třírozměrný
MPR	tavením zpracovatelná guma (melt-processible rubber)
PVC	polyvinylchlorid
PA	polyamid
PBT	polybutylentereftalát
TPE	termoplastický elastomer
TPx (TPE-x)	termoplastický elastomer typu x
TPA (TPE-A)	termoplastický polyamid
TPC (TPE-C)	termoplastický polyester (polykarbonát)
TPO	termoplastický polyolefin
TPS (TPE-S)	termoplastický styren
TPU (TPE-U)	termoplastický polyuretan
TPV (TPE-O)	polyolefin s vulkanizovanou gumou
TPZ	nespecifikovaný termoplastický elastomer
SBS	styren-butadien-styren
SEBS	styren-ethylen-butylen-styren
C	atom uhlíku
H	atom vodíku
	molekula styrenu
PLA	kyselina polymléčná
F_{umax}	maximální uzavírací síla vstřikovacího stroje
p_{imax}	maximální vstřikovací tlak
S_{max}	maximální průmětná plocha

1 ÚVOD

Česká republika se pyšní bohatou strojírenskou historií, nenechme ji upadnout v zapomnění, přesvědčme potenciální inženýry ke správné volbě.

Zájemců o studium technických oborů je rok od roku méně. Přestože firmy nabízejí velmi lukrativní nabídky práce, technicky vzdělaných strojních inženýrů je nedostatek napříč všemi obory. Fakulta strojní Technické univerzity v Liberci (FS TUL) se proto snaží motivovat budoucí absolventy středních škol ke studiu na FS s ohledem na širokou možnost uplatnění po úspěšném ukončení studia. Studenti středních škol si však myslí, že studium strojírenství je pouze o složitých a nudných matematických výpočtech.

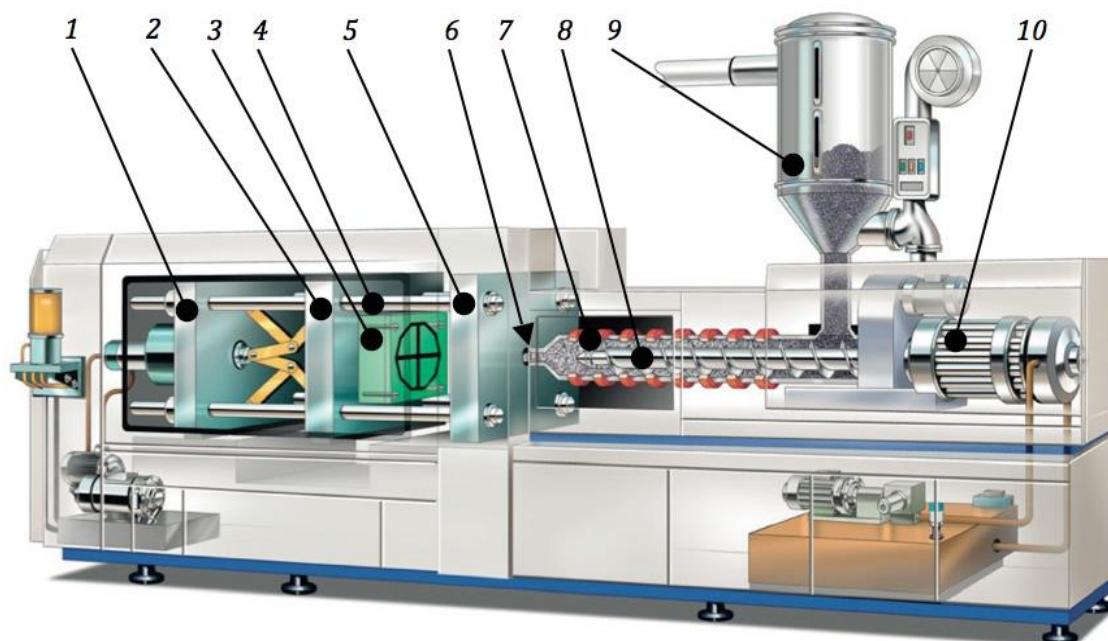
Z výše uvedených důvodů bylo proto rozhodnuto navrhnout a vytvořit jednoduchý a finančně nenáročný upomínkový předmět, na kterém lze budoucím studentům demonstrovat, že strojařina je nedílnou součástí téměř každého výrobku a že znalosti získané studiem lze aplikovat do konečného produktu. Navrhovaný výrobek vystupuje z řady běžně nabízených reklamních předmětů, je to dárek od studentů pro studenty.

Návrh výrobku a konstrukce tvarové desky formy byla cílem diplomové práce, která se v teoretické části zabývá rešerší poznatků v oblasti návrhu dílů a konstrukce forem pro technologii vstřikování plastů. Praktická část navazuje návrhem reklamního předmětu pro vstřikování a následnou konstrukcí formy pro vstřikování navrženého dílu. Konstrukční návrh byl ověřen simulací procesu vstřikování, aby následně vyrobená forma byla použitelná dle předpokladů a reklamní předmět mohl plnit svůj účel.

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ [1] [2]

Technologie vstřikování pro zpracování polymerů umožňuje výrobu složitých výrobků rozmanitých tvarů a velikostí na jednu operaci. Největší zastoupení má tento proces při hromadné výrobě v průmyslu automobilovém, elektrotechnickém, ve zdravotnictví, ale také pro výrobky do domácností. Vstřikováním lze dosahovat vysoké přesnosti výrobků podmíněné přesností formy (obvykle dosahuje setin milimetru) a stavem vstřikovacího stroje.

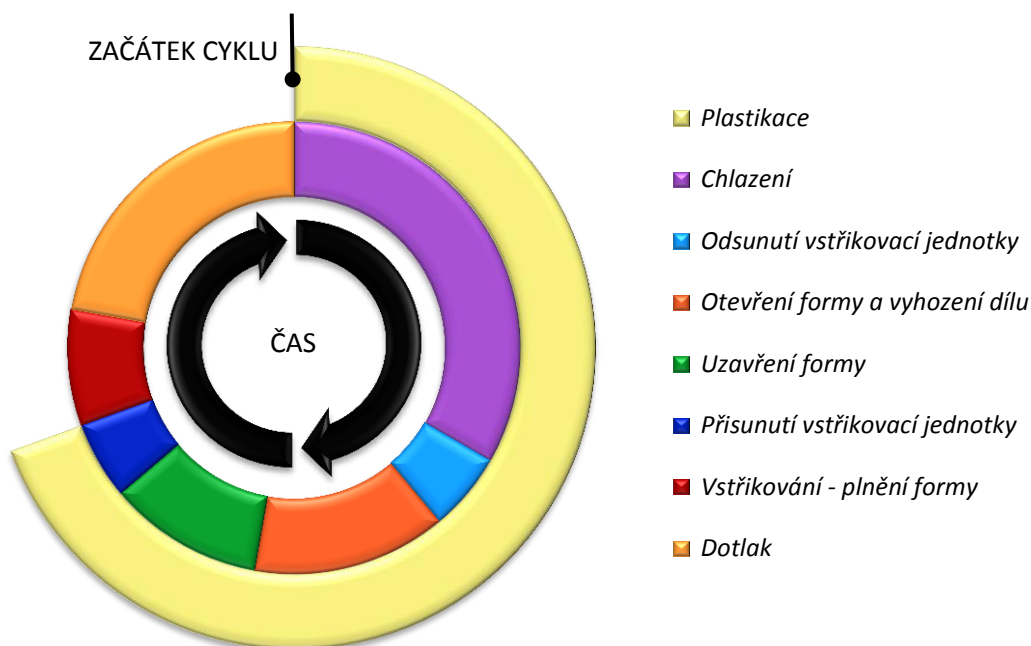
Vstřikování probíhá na vstřikovacím stroji, který se skládá ze dvou základních jednotek, vstřikovací a uzavírací. Základní popis vstřikovacího stroje je na obr. 1. Vstřikovací jednotka zpracovává polymer. Plastový polotovar, nejčastěji ve formě granulátu, je dávkován přes násypku do tavicí komory. Pomocí šneku a topných těles je v plastikační komoře roztaven a zhomogenizován. Takto připravená tavenina se dostává před čelo šneku a skrz trysku stroje je vstřikována do formy. Uzavírací jednotka otevírá/zavírá upnutou formu (nástroj). Při vstřikování taveniny drží formu uzavřenou, aby se tlakem taveniny neotevřela. Po ukončení vstřikování a následném ochlazení výrobku je forma otevřena a výrobek vyhozen (vyjmut).



Obr. 1 Vstřikovací stroj [4]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikovacího stroje, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikovacího stroje, 5 – pevná upínací deska vstřikovacího stroje, 6 – tryska vstřikovacího stroje, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro granulát, 10 – pohonná jednotka šneku

Vstřikovací cyklus sestává z přípravy taveniny plastu (plastikace), která probíhá v tavicí (plastikační) komoře. Následuje vstříknutí taveniny skrz trysku a vtokový systém do dutiny zavřené formy (vstřikování), doplnění objemu taveniny s ohledem na smršťování (dotlak), chlazení a tuhnutí dílu a otevření formy s vyhozením dílu. Tento cyklus trvá jednotky až desítky sekund v závislosti na objemu výrobku, jeho rozměrech, materiálu a také na použitém vstřikovacím stroji. Průběh cyklu je znázorněn na obr. 2, který také znázorňuje, že již během chlazení začíná další cyklus plastikace.



Obr. 2 Vstřikovací cyklus [3]

Vzhledem k tomu, že se tato diplomová práce zabývá návrhem dílu a následně konstrukcí formy pro technologii vstřikování, jsou na následujících několika stranách popsány požadavky pro navrhování dílů pro technologii vstřikování a postup při konstrukci formy. Zejména se jedná o funkce, činnost a části formy, protože každý vstřikovaný díl vyžaduje „specifickou“ vstřikovací formu.

3 ZÁSADY NÁVRHU DÍLU PRO VSTŘIKOVÁNÍ [3] [4] [5]

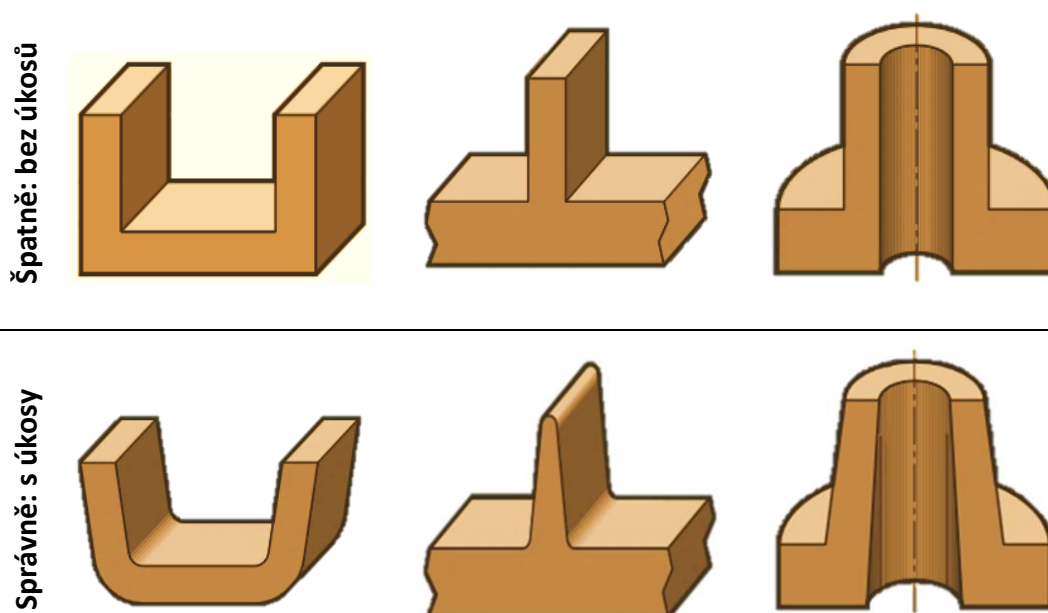
Návrh dílu je první a zcela zásadní krok, který je potřeba splnit při přípravě výroby. Navržený díl musí splňovat jak funkční požadavky, tak i technologické požadavky (požadavky dané technologií vstřikování), ale i designové a ekonomické.

Funkční požadavky:

- užité
- estetické, ergonomické
- bezpečností hledisko
- splnění norem vztahujících se na navrhovaný díl

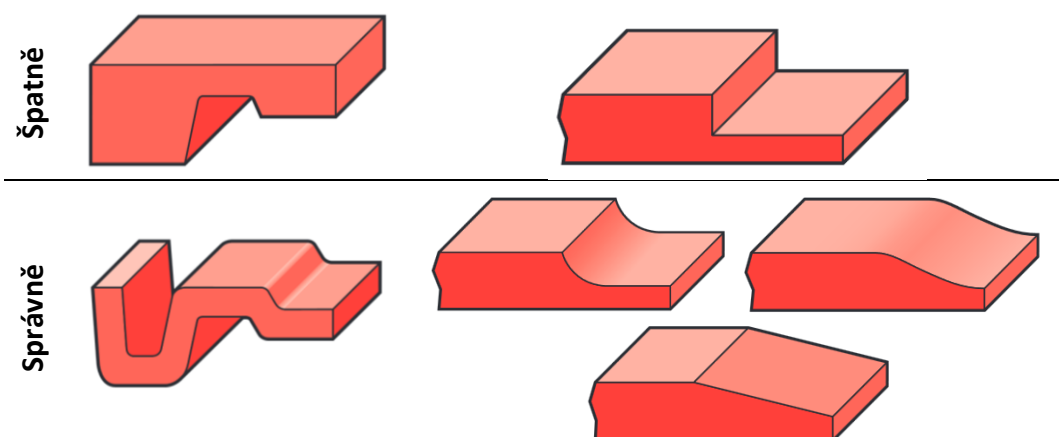
Technologické požadavky:

- druh plastového materiálu – amorfni/semikrystalický; plniva
- tolerance rozměrů – rozměry vázané formou; několik tříd přesnosti; nutnost vycházet především z hodnot smrštění (+ simulace)
- zaformovatelnost/odformovatelnost – volba dělicí roviny; odformovatelnost bočních jader/podkosů; úkosy (umožňují vyjmutí/vyhození dílu z formy; minimálně $0,5-2^\circ$ dle materiálu a tvaru výrobku; při nedostatečných úkosech – poškrábání, deformace výrobku) s ohledem na velikost výrobku (viz obr. 3)



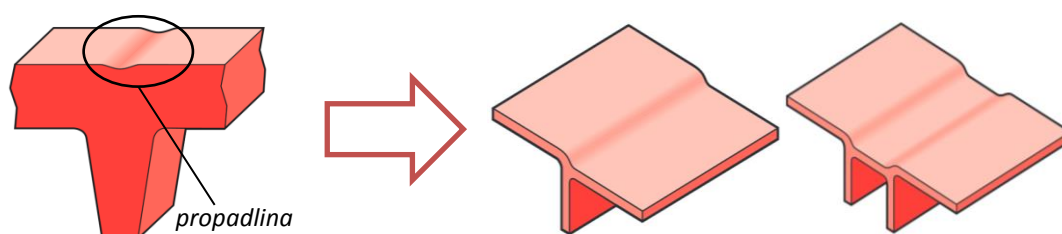
Obr. 3 Úkosy při návrhu dílů [4]

- tloušťky stěn – vliv na pevnost/tuhost dílu; dáno velikostí výrobku a zvolenou technologií výroby; různé tloušťky v jednom dílu způsobují nerovnoměrné smrštění, a tedy deformace, nutnost plynulých přechodů (viz obr. 4)



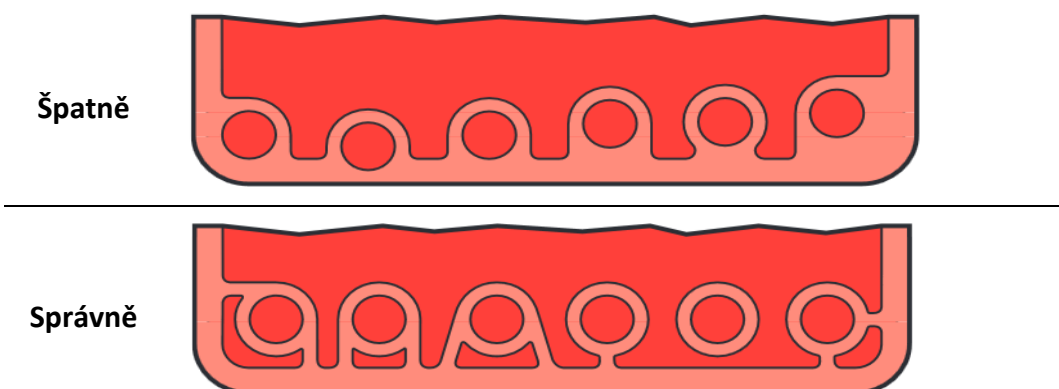
Obr. 4 Řešení tlouštěk stěn při návrhu dílů [5]

- rádiusy – nutnost použití rádiusů, hrany působí jako vruby; čím větší rádius, tím lépe, plynulé přechody stěn; ostré hrany doporučeny jen v dělicí rovině
- žebra – tuhostní a technologické hledisko; rozměry vycházejí zejména z tloušťky hlavní stěny; pozor na vznik tepelných uzlů u paty žebra (způsobují propadliny), dodržení úkosů a rádiusů, umožnění chlazení apod. (viz obr. 5)



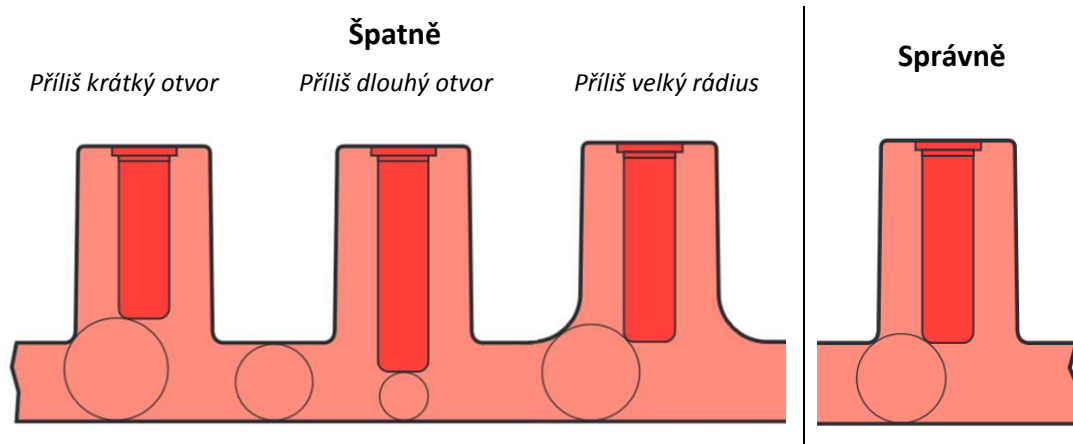
Obr. 5 Optické zakrytí vznikajících propadlin u žebíř [5]

- výstupky – viz žebra, ale kruhová (viz obr. 6)



Obr. 6 Napojení výstupků [5]

- díry, otvory – hloubka dle průměru, aby při vstřikování nedocházelo k vychýlení jádra; pozor na ztenčení/zesílení stěny pod neprůchozím otvorem (viz obr. 7)



Obr. 7 Navrhování neprůchozích otvorů [5]

- tvary stěn s ohledem na deformaci – větší plochy klenuté/prolamované

Konstruktor dílů/designér by měl navrhovat díly nejenom s ohledem na funkční a technologické požadavky, ale také s ohledem na ekonomické předpoklady výroby. V neposlední řadě je třeba myslet na ekologické zásady.

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA [4] [6] [7] [9]

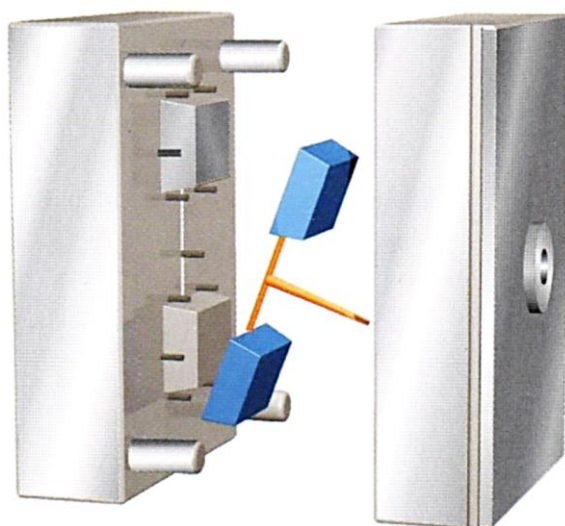
Vstřikovací forma má tři základní funkce: 1. zajistit naplnění taveninou skrz vtokový systém do jedné či více tvarových dutin (negativy výrobků), 2. přivést/odvést teplo potřebné pro předehtání/ochlazení formy a 3. zajisti odformování/vyhození dílu. Základní přehled funkcí je vidět na obr. 8.

VSTŘIKOVACÍ FORMA						
FUNKCE	Doprava taveniny		Přenos tepla		Odformování dílu	
ČINNOSTI	Odolnost proti deformacím a teplotě	Transport taveniny do dutiny formy	Odvod tepla z dílů	Odvod tepla z formy	Otevření formy	Odformování dílů
KONSTRUKCE	Podpěrné válce	Vtokový systém	Počet temperačních kanálů	Rychlost toku temperační kapaliny	Dělicí rovina	Vyhazovače
	Tloušťka desek	Ústí vtoku	Vzdálenost chladicích kanálů	Průřez chladicích kanálů	Vytažení jader	Robotické vyjímání
			Tepelné vodivé vložky			Tahače jader

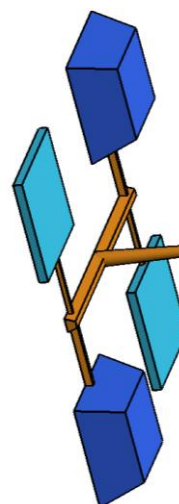
Obr. 8 Základní funkce, činnosti a konstrukce vstřikovací formy [4]

To jsou základní funkce vstřikovacích forem jako celků. Nástroje na vstřikování polymerů lze rozdělit a specifikovat dle několika hledisek (konstrukční řešení vstřikovacího nástroje závisí zejména na složitosti a materiálu vyráběného dílu a na předpokládaném množství vyráběných kusů).

Formy se podle násobnosti dělí na jednonásobné, vícenásobné a „family“ nástroje. Zatímco u jednonásobných vzniká při každém vstřikovacím cyklu jeden výrobek, u vícenásobných forem mohou být dva, ale i několik desítek dílů (zejména jednoduchých). Na obr. 9 je uveden příklad dvounásobné formy. Použitím family forem se vstřikují různé výrobky v jedné formě. Často se jedná o zrcadlové díly nebo součásti, které spolu tvoří jeden celek. Příklad family formy (misky s víčkem) je na obr. 10.

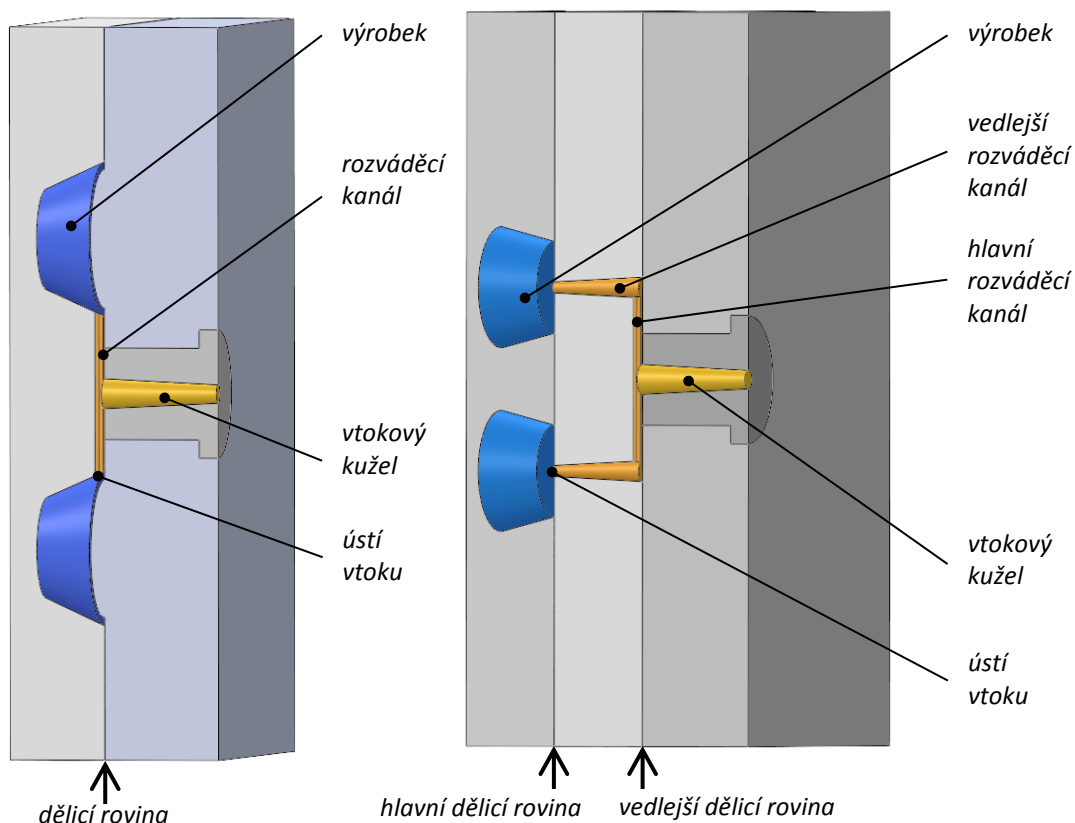


Obr. 9 Dvounásobná vstřikovací forma se vstřikováním na dělicí rovinu [11]



Obr. 10 Family forma pro dvě krabičky s víčky se vstřikováním na dělicí rovinu

Na základě polohy vstřikovací jednotky vůči uzavírací jednotce vstřikovacího stroje mohou být formy s vstřikováním na dělicí rovinu a do dělicí roviny. Vstřikování na dělicí rovinu probíhá kolmo k dělicí rovině (viz obr. 1 a obr. 9). Vstřikování do dělicí roviny má obvykle svislou vstřikovací jednotku a probíhá kolmo k pohybové ose uzavírací a vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje.

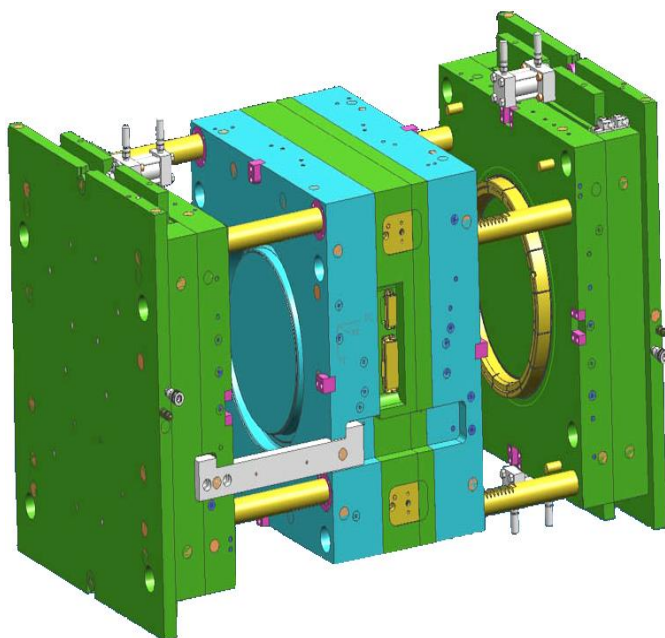


Obr. 11 Dvoudeskové (vlevo) a třídeskové (vpravo) uspořádání forem

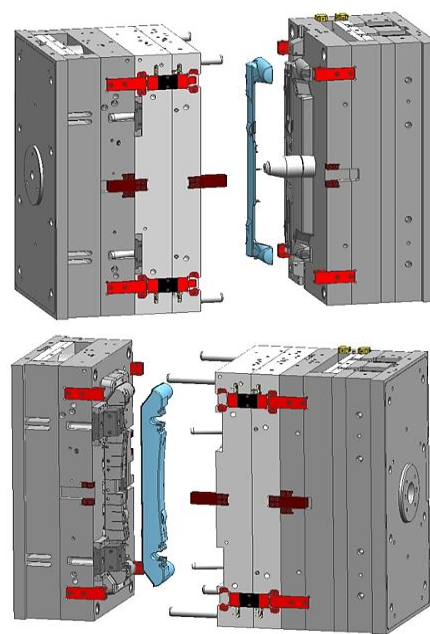
V případě dělení forem dle použitého druhu polymeru, lze vstřikovací formy rozdělit na formy pro termoplasty, reaktoplasty a kaučuky (pryže).

Dle konstrukce dělíme nástroje na dvoudeskové, třideskové, etážové, tandemové, čelistové, vytáčeční a speciální. Dvoudesková konstrukce je nejjednodušší konstrukcí s jednou dělicí rovinou. Třideskové formy mají dvě dělicí roviny a používají se zejména k vstřikování do dna výrobků u vícenásobných forem. Hlavní dělicí rovina slouží k vyjmutí výrobku a vedlejší dělicí rovina k vyjmutí vtokového zbytku. Porovnání dvoudeskové a třideskové konstrukce je znázorněno na obr. 11.

Etážové a tandemové konstrukční řešení umožňuje vstřikování bez potřeby použití velkých uzavíracích sil na vstřikovacím stroji, protože se tvarové dutiny nachází v dělicích rovinách za sebou. Zatímco u etážové formy dochází k otevírání formy ve všech dělicích rovinách současně (viz obr. 12), v případě tandemové formy v jedné dělicí rovině probíhá proces, obvykle chlazení, z druhé dělicí roviny se vyhazuje (viz obr. 13). Tandemové formy jsou moderní řešení, umožňující velkou variabilitu, ale to je podmíněno kvalitou konstrukce vtokového systému, přesností zámeků (vyvozují uzavírací sílu) a řídicím systémem celého procesu. Více například v [8] a [9].



Obr. 12 Etážová forma [10]



Obr. 13 Tandemová forma [8]

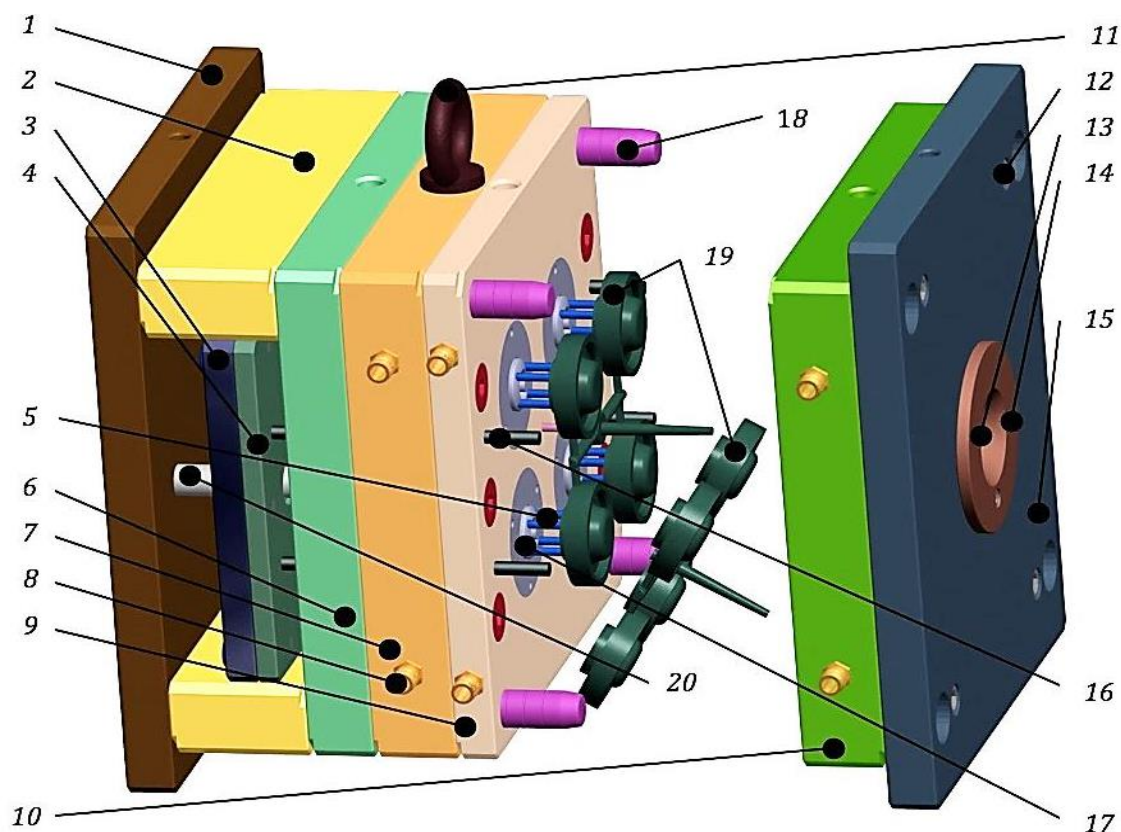
Čelistové a vytáčeční formy patří mezi složitější konstrukční varianty. Důvodem použití jsou složitější výrobky s podkoso, závitů či bočními otvory, které nelze z formy vyhodit při pouhém otevření v hlavní dělicí rovině ve směru otevírání. Je zapotřebí

tvárových čelistí, kterými se vytvoří více dělicích rovin nebo vytáčecích jader, která umožní zaformovat i složité tvary. Čelisti mohou být ovládány buď nuceným otevíráním pomocí šikmo uložených či ohnutých kolíků nebo klínů, anebo samostatně hydraulickými tahači. Jádra jsou většinou automaticky vyšroubována.

Následující kapitoly se podrobněji věnují možnostem při návrhu forem pro vstřikování, zejména vtokovému systému, temperačnímu systému, vyhazovacímu systému, odvzdušnění a rámu forem.

4.1 Obecný postup návrhu formy [4]

Před začátkem vlastního návrhu formy je třeba znát předpokládané množství výrobků. Na základě tohoto základního údaje se rozhoduje o násobnosti formy a její základní konstrukci. Dále jsou to zásadní informace při volbě komponent s vyšší/níží vstupní investicí a při volbě materiálů jednotlivých dílů formy.



Obr. 14 Otevřená dvoudesková forma [4]

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěrka, 3 – vyhazovací deska opěrná, 4 – vyhazovací deska kotevní, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – deska pro rozvod chlazení, 8 – přípojka chlazení, 9 – tvárník, 10 – tvárnice, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vracecí kolík vyhazovacího mechanismu, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupek, 19 – vstřikované díly, 20 – podpěrný válec

Po stanovení ekonomických předpokladů pro výrobu začíná vlastní konstruování formy, které můžeme shrnout do následujících kroků:

1. Skladba/základní konstrukce vstřikovací formy, volba dělicí roviny
2. Volba základních rozměrů, výběr desek
3. Návrh vtokového systému
4. Návrh temperačního systému
5. Návrh vyhazovacího systému
6. Návrh odvodušnění

Popis jednotlivých částí formy je uveden na obr. 14.

V případě složitějších forem a forem s větší vstupní investicí se využívá simulačních software zejména pro návrh a ověření vtokového a temperačního systému. Pro ověření nejsložitějších vstřikovacích nástrojů se vyrábí prototypové formy s menší násobností nebo se využívá hliníkových slitin.

4.2 Vtokový systém [1] [11]

Vtokový systém je soustava kanálů, jehož cílem je doprava taveniny od trysky vstřikovacího stroje do jedné či více tvarových dutin formy. Při návrh vtokové soustavy je snahou co nejlépe splnit následující požadavky:

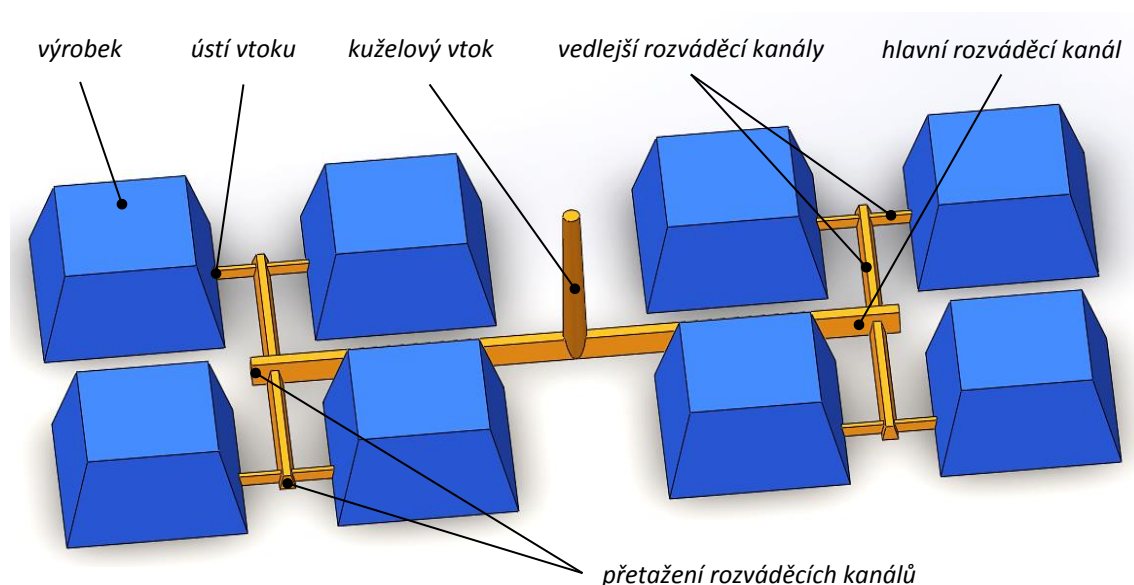
- plnění všech tvarových dutin za stejných podmínek, zejména tlaku a teploty ve stejném čase
- co nejmenší objem materiálu mimo tvarové dutiny (krátké rozváděcí kanály)
- co nejkvalitnější výrobky v co nejkratších vstřikovacích cyklech

Z hlediska vstupních investic je nejméně náročná tzv. studená vtoková soustava, která je umístěna do formy bez jakékoliv další regulace teploty. Naopak její nevýhodou je vznik vtokového zbytku při každém vstřikovacím cyklu, který je navíc potřeba od výrobku oddělit. Opakem je vtokový systém sestávající z horkých (izolovaných a vytápěných) rozvodů s horkými tryskami. Tato varianta umožňuje bezodpadové vstřikování, avšak pořizovací cena je mnohem vyšší, než u studené vtokové soustavy. Má tedy využití zejména u velkosériové výroby. Mezi těmito dvěma možnostmi existuje i kombinace horkých rozvodů se studenými částmi kanálů. Dalšími, nyní již

zastaralými variantami, je použití živých vtoků (předimenzované kanály, ve kterých zatuhlá povrchová vrstva izoluje roztavený plast od studenější formy), případně použití předkomůrek u jednonásobných forem (viz např. v [1]).

4.2.1 Studený vtokový systém [3] [4] [6] [11]

Studený vtokový systém je znázorněn na obr. 15. Vtokový systém se může skládat z kuželového vtoku, hlavních a vedlejších rozváděcích kanálů a ústí vtoku. Každá vtoková soustava se ale nemusí vždy skládat ze všech částí, mohou chybět vedlejší rozváděcí kanály a v případě jednonásobných forem i hlavní rozváděcí kanály.

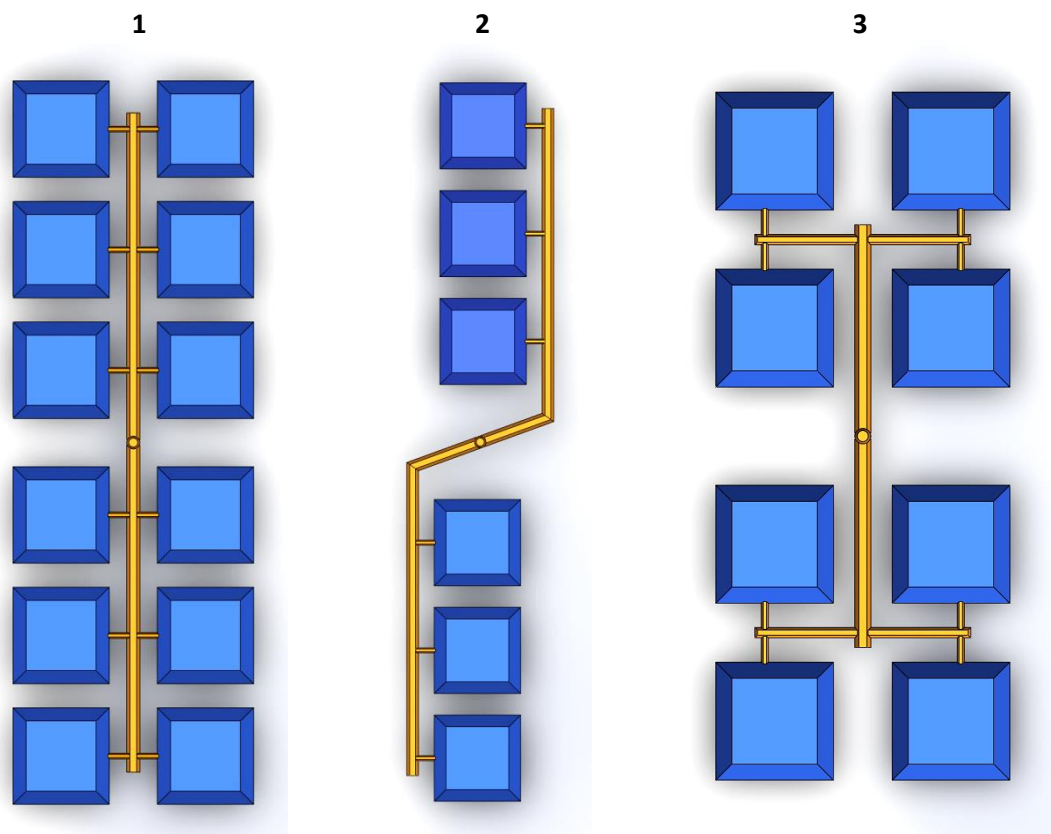


Obr. 15 Části vtokového systému

Uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem musí zaručit rovnoměrné plnění všech tvarových dutin, čehož lze nejnáze dosáhnout stejnou dráhou toku do jednotlivých výrobků. V případě různé délky toku je třeba korigovat průřezy vedlejších rozváděcích kanálů pro jednotlivé dutiny nebo průřezy vtokových ústí. Uspořádání může být buď řadové, nebo symetrické. Příklady řadového uspořádání jsou uvedeny na obr. 16. Naproti tomu symetrická uspořádání jsou znázorněna na obr. 17. Zejména v případě delších kanálů je vhodné používat přetažení rozváděcích kanálů, kde se oddělí studenější čelo taveniny.

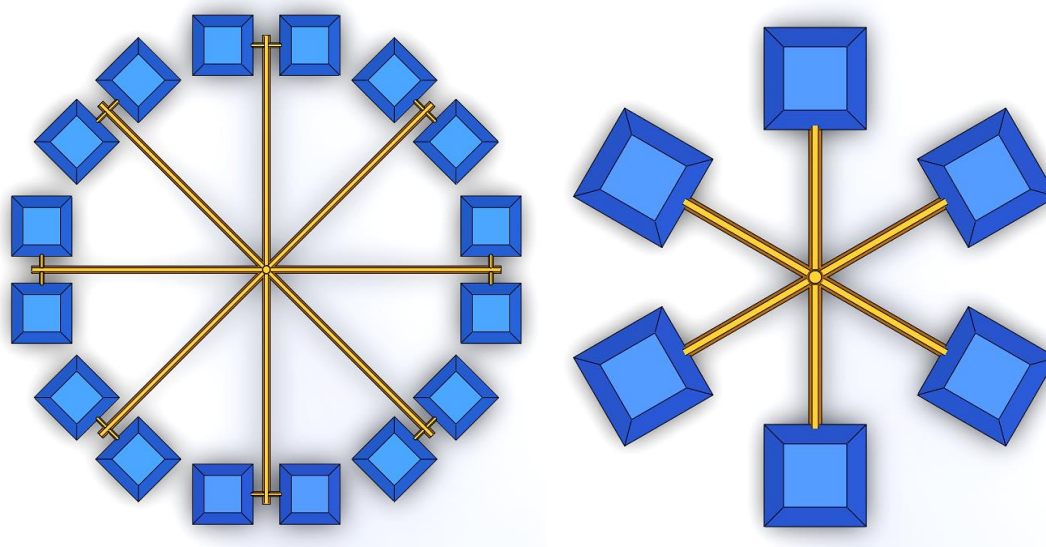
Rozváděcí kanály mohou mít různý průřez, kruhový, obdélníkový, trapézový, parabolický apod. Ideální by byl kruhový, který je ale náročný na přesnost výroby. Vyžaduje přesné obrábění obou tvarových desek, které značně zvyšuje výrobní cenu.

V případě špatného provedení to může vést k nepřesnostem v dělicí rovině (viz obr. 18). Z tohoto důvodu se více používají trapézové (lichoběžníkové) či parabolické kanály, které se vyrábí pouze do jedné desky a jsou zároveň finančně méně náročné. Jejich průřezy jsou uvedeny na obr. 19.

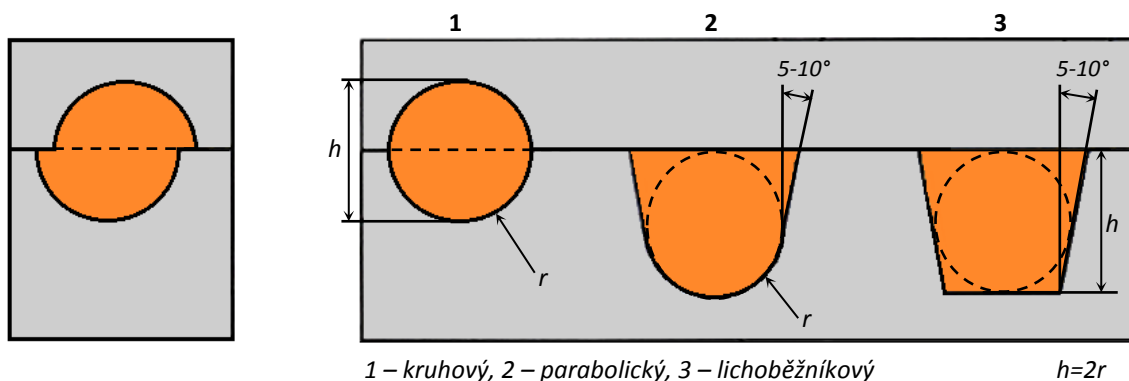


Obr. 16 Řadové uspořádání vtokové soustavy

1, 2 – s nutností korekce; 3 – bez korekce



Obr. 17 Symetrické uspořádání vtokové soustavy



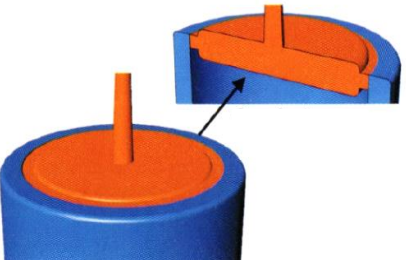
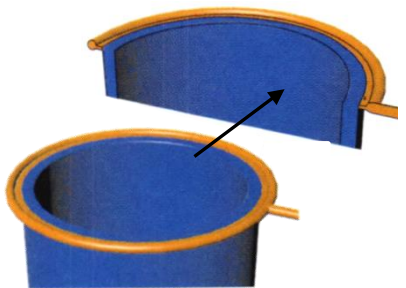
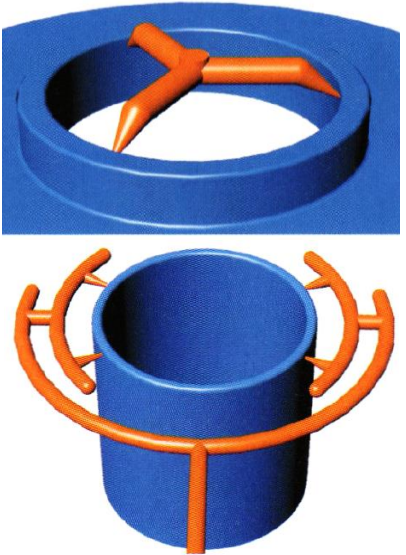
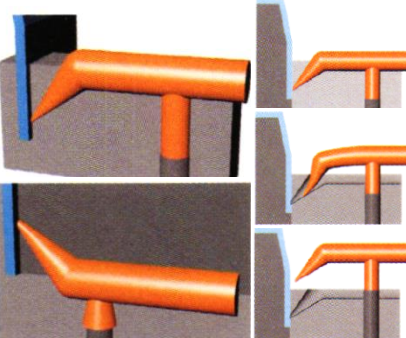
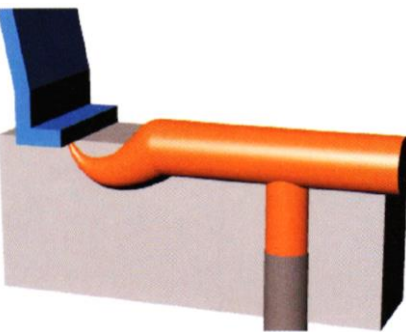
Obr. 18 Nepřesný kruhový
vtokový kanál

Obr. 19 Možné průřezy vtokových kanálů [11]

Zásadní roli při navrhování vtokové soustavy hraje ústí vtoku, což je přechod mezi vtokovou soustavou a vlastním výrobkem. Základní konstrukční varianty jsou uvedeny v tab. 1. U všech uvedených variant vtokových ústí jsou popsány přednosti a zápory.

Tab. 1 Možnosti vtokových ústí, výhody a nevýhody [11]

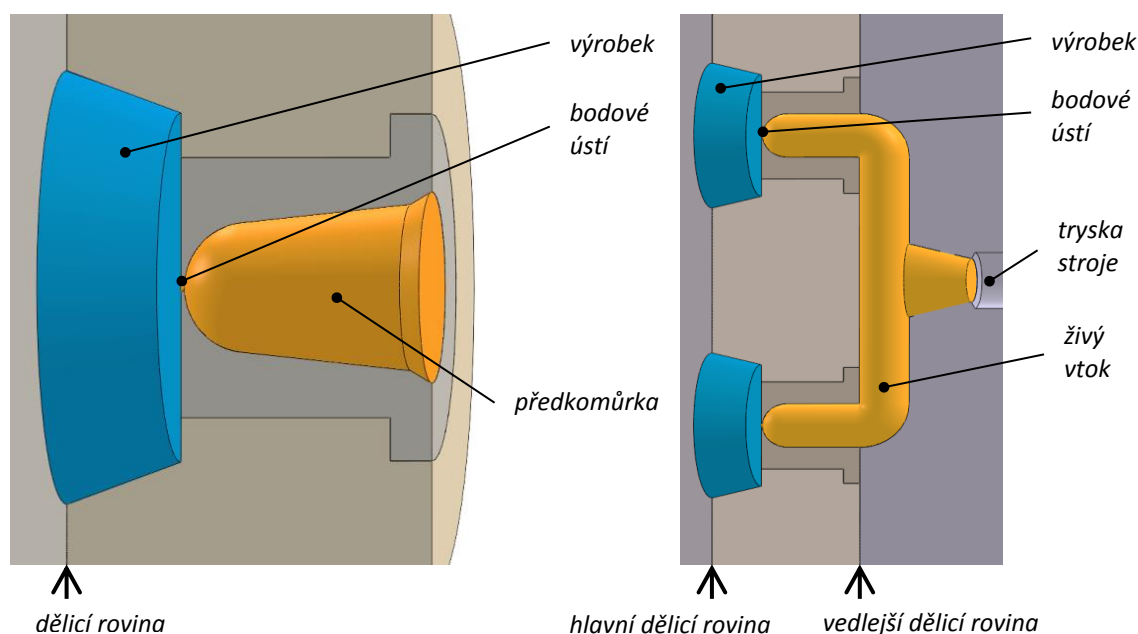
Typ	3D brázek: oranžová – vtok; modrá – výrobek	Výhody	Nevýhody
Kuželový		+ dno výrobků kelímkových tvarů ve dvoudeskovém řešení + cena + plnění bez větších smykových namáhání	– náročné oddělování – dvoudeskové řešení jen u jednonásobné formy – velká stopa na výrobku od ústí vtoku
Bodový		+ snazší oddělení od výrobku (v porovnání s kuželovým ústím) + cena + dvoudeskové řešení i ve vícenásobných formách viz obr. 15	– vznik smykových napětí, tlakové ztráty – dodatečné oddělování výrobku od vtokové soustavy
Filmový/šterbinový		+ rovnoměrné plnění deskových výrobků s následným rovnoměrným smrštěním + nízké pnutí	– velké množství odpadu – odlomení/odříznutí po celé délce – stopa od ústí vtoku po celé délce výrobku

Deštníkový/talířový		<ul style="list-style-type: none"> + rovnoměrné plnění válcových výrobků bez studených spojů ve stěnách 	<ul style="list-style-type: none"> – velké množství odpadu – odlomení/odříznutí po celém obvodu – velká stopa na výrobku od ústí vtoku
Prstencový		<ul style="list-style-type: none"> + rovnoměrné plnění válcových výrobků bez studených spojů ve stěnách 	<ul style="list-style-type: none"> – odlomení/odříznutí po celém obvodu – velká stopa na výrobku od ústí vtoku
Vícenásobný bodový nebo tunelový		<ul style="list-style-type: none"> + dostatečně rovnoměrné plnění válcových výrobků bez studených spojů ve stěnách + možnost z vnitřní i vnější strany + náhrada ústí <ul style="list-style-type: none"> – deštníkových – prstencových – filmových + snadné odlomení (bodové) + automatické odlomení (tunelové) 	<ul style="list-style-type: none"> – složitější systém rozváděcích kanálů – velký objem vtokového zbytku v případě vnějšího plnění – dodatečné oddělování výrobku od vtokové soustavy (bodové) – nutnost pružných plastů, aby nedošlo k zalomení u ústí vtoku (tunelové)
Tunelový		<ul style="list-style-type: none"> + automatické oddělení vtoku od výrobku při vyhození 	<ul style="list-style-type: none"> – dražší výroba než u předchozích typů (použití dvoudílných tvarových vložek) – nutnost pružných plastů, aby nedošlo k zalomení u ústí vtoku
Banánový		<ul style="list-style-type: none"> + automatické oddělení vtoku od výrobku při vyhození + možnost ústí z nevzhledové a vnitřní strany výrobku (ve srovnání s tunelovým vtokem) 	<ul style="list-style-type: none"> – nejdražší výroba (použití dvoudílných tvarových vložek) – nutnost pružných plastů, aby nedošlo k zalomení u ústí vtoku

4.2.2 Horký vtokový systém [4] [11]

V horkém vtokovém systému neklesá teplota taveniny mezi výstupem z trysky vstřikovacího stroje a vstupem do tvarové dutiny formy. V horkém vtokovém systému je tavenina stále tekutá, tudíž nevznikají žádné vtokové zbytky. To má velké výhody, např. není třeba řešit oddělování vtokové soustavy od výrobků, tím je i snazší případná automatizace výroby. Šetří se vstřikovaným materiálem, energií na přípravu taveniny, a navíc stačí nižší vstřikovací tlak. Na druhou stranu je plast delší dobu vystavován vysokým teplotám, což může být problém zejména u tepelně citlivých plastů, např. PVC, u kterého dochází velmi rychle k degradaci za zvýšených teplot. Také je velmi vysoká vstupní investice s potřebou větších znalostí při výběru systému s následnými vyššími nároky na údržbu.

Horké systémy lze rozdělit na dvě skupiny, izolované a ohřívané. Do izolovaných se řadí předkomůrky u jednonásobných forem a živé vtoky pro vícenásobné vstřikovací nástroje. Obě, již víceméně „zastaralé“ varianty, jsou zobrazeny na obr. 20. V izolovaném horkém vtokovém systému vzniká zamrzlá izolační vrstva plastu na styku s formou, díky které je jádro stále tekuté, a nevznikají žádné vtokové zbytky. Živé vtoky jsou podmíněny krátkými vstřikovacími cykly.



Obr. 20 Předkomůrka a živý vtok

Ohřívané horké systémy se skládají z horkých trysek a v případě vícenásobných forem i horkých bloků (rozvodů). Dodavateli těchto horkých rozvodů i trysek jsou

například Thermoplay, Hasco, Husky apod. Příklady horkých rozvodů jsou na obr. 21 a příklady trysek na obr. 22.

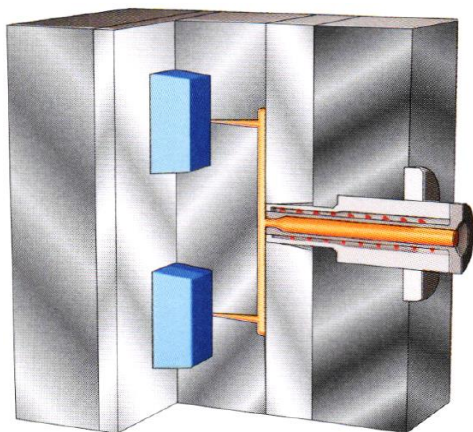


Obr. 21 Horké rozvody od Husky [12]

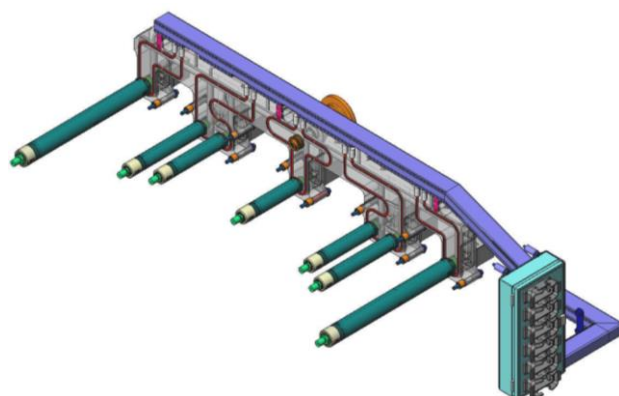


Obr. 22 Horké trysky od Thermoplay [13]

Existuje i varianta využívající horkou trysku v kombinaci se studenými kanály v třideskovém konstrukčním uspořádání. Výhodou oproti klasické studené soustavě je snížení otevírací síly při vyhazování. (viz obr. 23) Konstrukčně nejsnazší varianta bezodpadového vstřikování je však jednonásobná forma s jednou horkou tryskou, která je využívána zejména u větších výrobků a středních sérií. Pro velkosériovou výrobu menších výrobků s využitím vícenásobných forem je tavenina do jednotlivých trysek dopravována horkými rozvody, kterých je na trhu dostupné obrovské množství od mnoha výrobců. I horkých trysek je mnoho variant jak otevřených, tak uzavíratelných. K nejnáročnějším systémům patří uzavíratelné ovládané trysky pro kaskádové vstřikování (viz obr. 24).



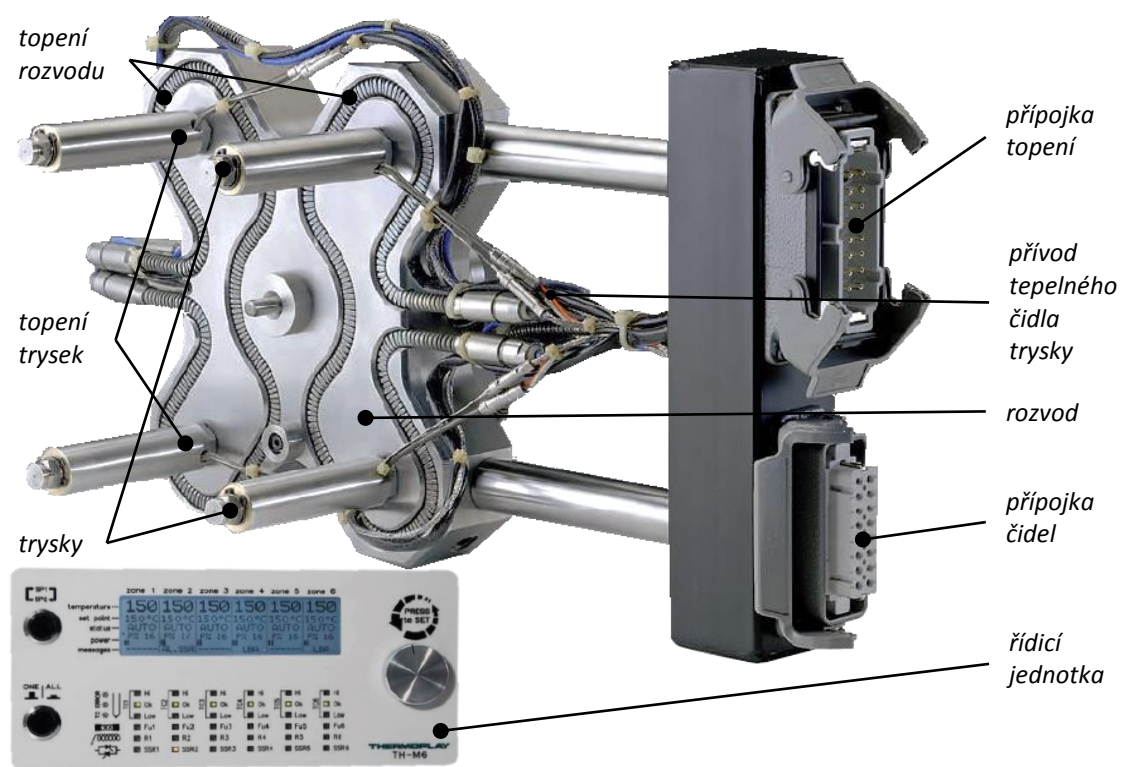
Obr. 23 Studený kanál s horkou tryskou [11]



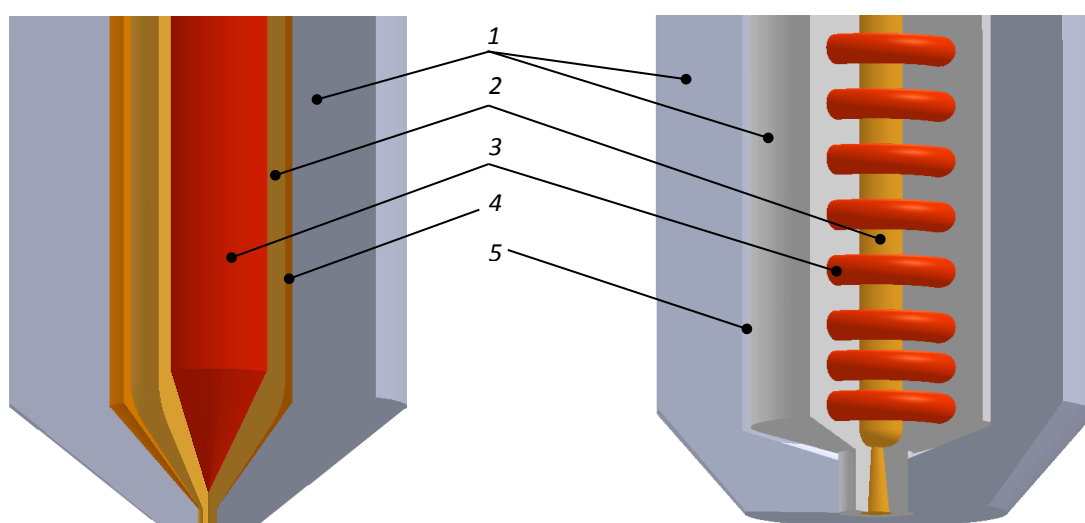
Obr. 24 Vyhřívaný kaskádový vtokový systém se sedmi tryskami [14]

Horký systém se obvykle skládá z vyhřívané vtokové vložky, vyhřívaného vtokového systému, vtokového ústí (trysky) a příslušného kabelového vedení zajišťujícího vytápění celé soustavy (viz obr. 25). Vzhledem k vysokým teplotám je

systém izolován od zbylých částí formy. Vyhřívání trysek je buď vnitřní, nebo vnější (viz obr. 26). Nevýhodou vnitřního vytápění je vznikající zamrzlá vrstva taveniny v kontaktu s formou. Části ztuhlého plastu se mohou nekontrolovaně uvolnit a zapříčinit vznik vadných výrobků. Obdobný problém může vznikat i v rozích či jiných slepých místech horkých rozvodů, ale i v plastikační komoře vstřikovacího stroje.



Obr. 25 Popis horkého vtokového systému [15] [16]



Obr. 26 Vnitřní (vlevo) a vnější (vpravo) vytápění trysek [4]

1 – kovový materiál formy/trysky, 2 – kanál pro proudění taveniny, 3 – topné těleso, 4 – zamrzlá vrstva plastu, 5 – izolační vzduchová mezera

Horké trysky lze rozdělit také dle směru ústí do výrobku na trysky s přímým, šikmým (viz obr. 27) a bočním ústím (viz obr. 28).



Obr. 27 Tryska se šikmým ústím [17]



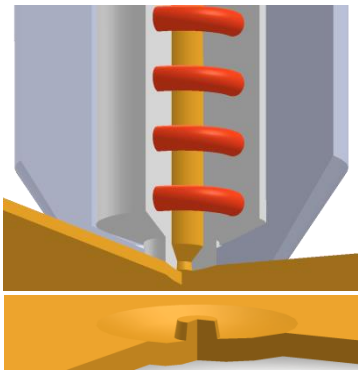
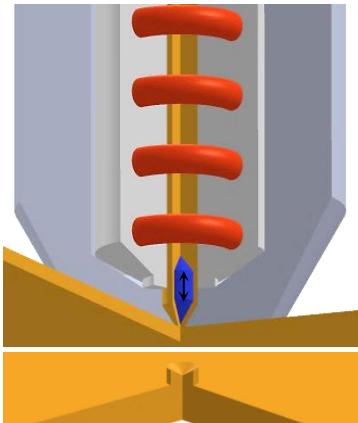
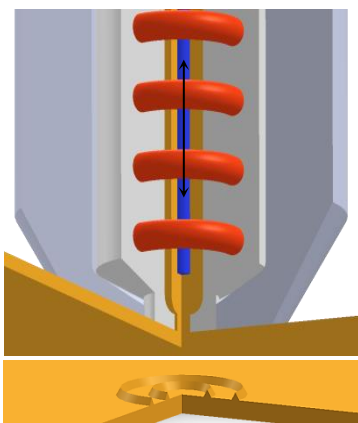
Obr. 28 Tryska se čtyřnásobným bočním ústím [18]

Tryska (ústí vtoku) horkého systému může být otevřená nebo uzavíratelná. Obě možnosti mají různá řešení. Přehled otevřených i uzavíratelných horkých trysek s přímým ústím je v tab. 2.

Tab. 2 Přímá ústí horkých systémů (trysky)

šedá: materiál trysky, červená: topení, žlutá: tavenina, oranžová: zatuhlá tavenina, modrá: uzavírání

Typ	Obrázek	Výhody	Nevýhody
Otevřená: izolace plastem		+ jednoduché řešení – naplnění izolační vrstvy při prvním cyklu	– vrstva zůstává až do demontáže trysky • degradace izolační vrstvy → nevhodné pro transparentní materiály → nízká kvalita povrchu – vtokový zbytek na dílu
Otevřená: kuželové ústí		+ jednoduché řešení + vhodné pro plasty s nízkou tekutostí + není problém s vytékáním taveniny (kužel chlazený)	– matná místa na dílu v oblasti ústí vtoku – vtokový zbytek na dílu či vedlejším rozváděcím kanálu (u třideskových forem)

Otevřená: vzduchová mezera		<ul style="list-style-type: none"> + jednoduché řešení + není problém s vytékáním taveniny 	<ul style="list-style-type: none"> – oddělení od výrobku, hrozí tvorba vláken u vtoku – drobný vtokový zbytek na dílu
Uzavíratelná: tlakem taveniny		<ul style="list-style-type: none"> + není problém s vytékáním taveniny + výrobek téměř bez stopy po vtoku 	<ul style="list-style-type: none"> – vyšší pořizovací cena – složitější mechanismus – vznik slepých míst pro taveninu, degradace – větší smykové namáhání taveniny a větší vstřikovací tlak (nevhodné pro tepelně citlivé plasty)
Uzavíratelná: pneumaticky		<ul style="list-style-type: none"> + není problém s vytékáním taveniny + výrobek téměř bez stopy po vtoku + ovládání řídicím systémem → lze kaskádové vstřikování + nižší tlakové ztráty a smykové namáhání než u předchozího typu 	<ul style="list-style-type: none"> – vyšší pořizovací cena – složitější mechanismus – nutnost řízení – nutnost přívodu stlačeného vzduchu

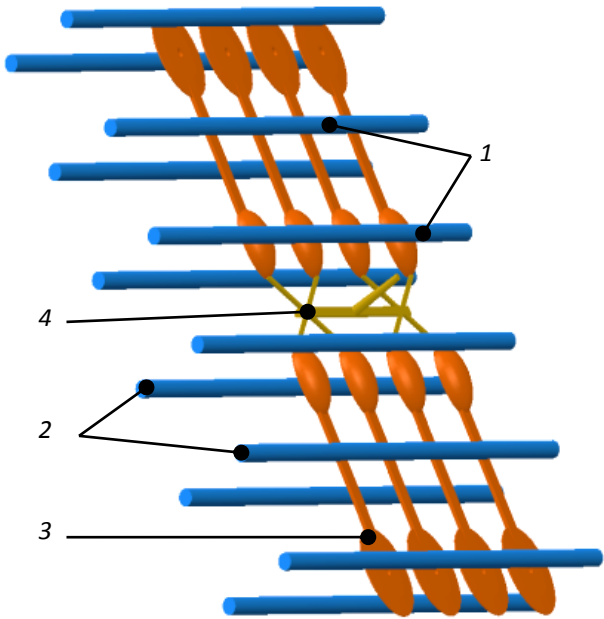
4.3 Temperační systém [4] [5] [19]

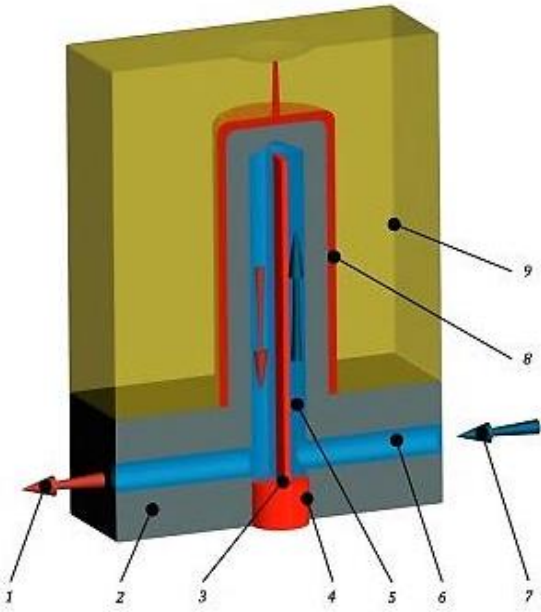
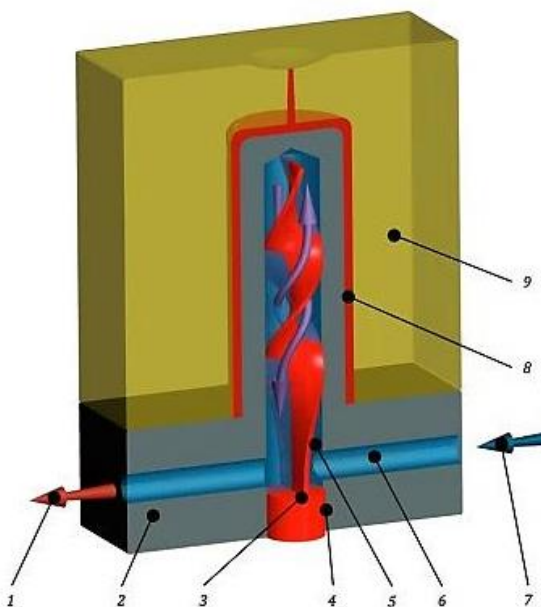
Temperační systém je soustava kanálů, jehož úkolem je chlazení/ohřev výrobku, resp. odvod/přívod tepla z tvarové dutiny formy, ale také zabezpečení předepsané (doporučené) teploty tvarových dutin formy a případně i vtokového systému během vstřikování. Konstrukčně se jedná o uzavřené okruhy kanálů v blízkosti tvarových dutin a vtokových soustav rozmístěné tak, aby odvod tepla byl co nejrovnoměrnejší ze všech míst výrobku, protože jen homogenní odvod tepla umožňuje splnit často velmi vysoké nároky na kvalitu vstřikovaných dílů (rozměry,

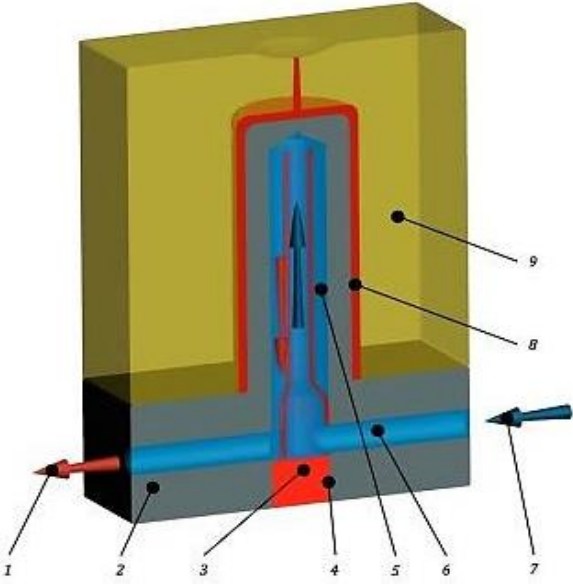
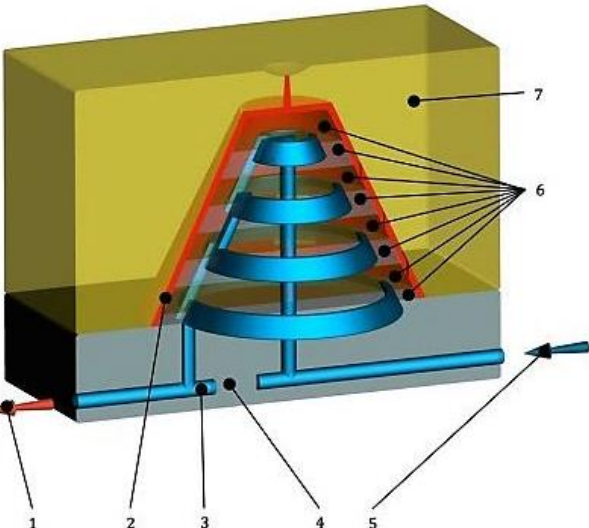
deformace, lesk apod.). Temperačním médiem je nejčastěji chemicky čištěná voda (jinak dochází k zanášení kanálů usazenými minerály) nebo olej (lze použít i vyšší teploty než 100 °C, nevzniká rez). Průběh temperace během celého vstřikovacího cyklu je ovládán pomocí připojené temperační jednotky tak, aby teplota tvarové dutiny byla v rozsahu 3÷5°C

Temperaci forem lze řešit různými způsoby jak na straně tvárnice, tak tvárníku. Nejjednodušší jsou vrtané kanály, které se z důvodu nerovnoměrnosti chlazení tvarových dílů bohužel nehodí pro každý výrobek, a tak vznikly složitější systémy pro chlazení jader, např. přepážky, fontánky či systém Contura®. Kromě „klasických“ temperačních kanálů lze pro chlazení jak vnější, tak vnitřní části výrobku použít materiály s vysokou tepelnou vodivostí, pórovité struktury, tepelné trubice, CO₂, pulzní chlazení, stlačený vzduch apod. Často je temperační systém kombinací výše zmíněných variant. Systémy temperace se stále vyvíjí s ohledem na pokrok výrobních technologií a možnosti řízení systémů. Přehled nepoužívanějších typů je uveden v tab. 3.

Tab. 3 Temperační systémy

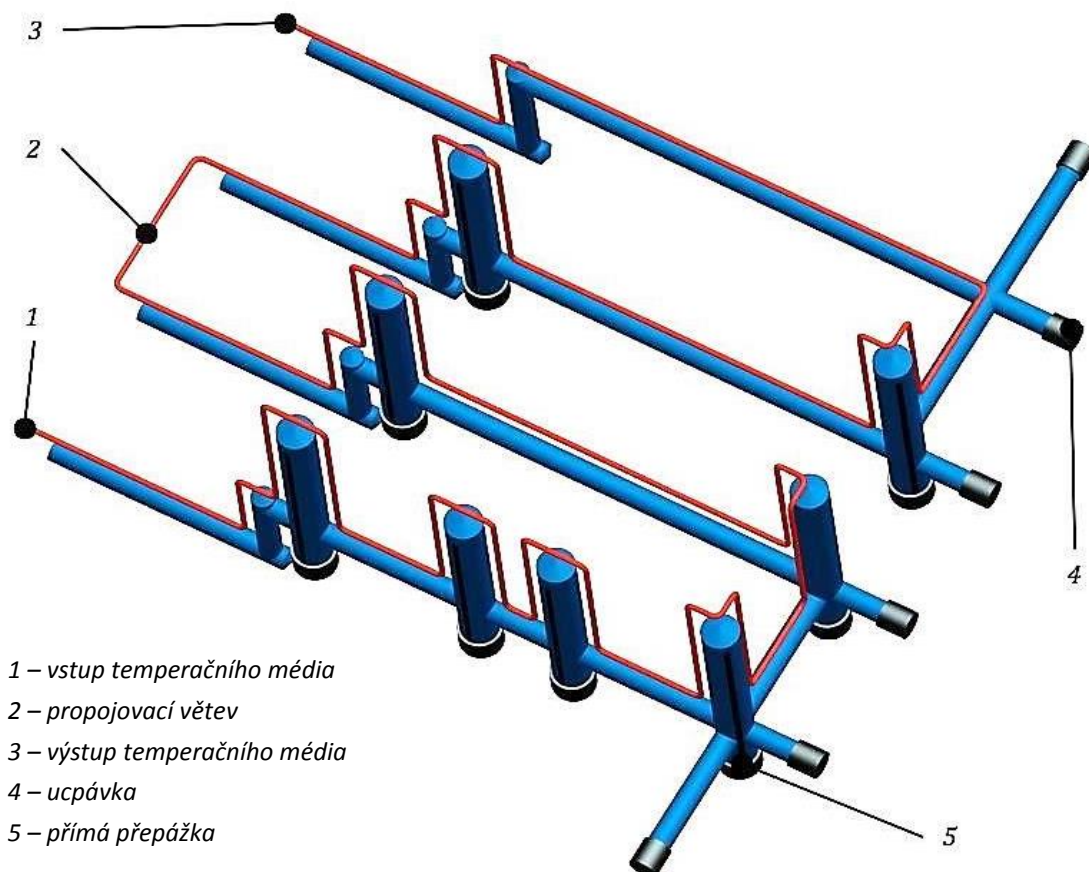
Typ	Obrázek:	Výhody (+)/Nevýhody (-)
Vrtané kanály	 <p>1 – temperační kanály s médiem, 2 – vstup/výstup/propojení temperačních kanálů, 3 – vstřikovaný díl, 4 – vtokový systém</p>	<p>+ snadná/levná výroba (nejsnazší systém)</p> <p>+ možnost tvorby různých okruhů</p>
		<p>– nerovnoměrné chlazení (chlazení plochých výrobků lze kompenzovat hustší sítí kanálů)</p> <p>– malá plocha pro přestup tepla</p> <p>– nevhodné pro tvarové výrobky s vysokými nároky na přesnost</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Ploché přepážky</p>	 <p>1 – výstup temperačního média, 2 – těleso pohyblivé části vstřikovací formy, 3 – plochá přepážka, 4 – úložná plocha přímé přepážky, 5 – vedlejší temperační kanál, 6 – hlavní temperační kanál, 7 – vstup temperačního média, 8 – vstřikovaný díl, 9 – těleso pevné části vstřikovací formy [4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> + snadná výroba/koupe přepážky (normálie) + nejlevnější metoda chlazení jader + vhodné zejména pro výrobky menších průměrů bez velkých nároků na přesnost <ul style="list-style-type: none"> – nerovnoměrné chlazení (část dutiny u vstupu/výstupu chladicího média)
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Spirálové přepážky</p>	 <p>1 – výstup temperačního média, 2 – tvárník, 3 – spirálová přepážka, 4 – úložná plocha přepážky, 5, 6 – temperační kanály, 7 – vstup temperačního média, 8 – vstřikovaný díl, 9 – tvárnice [4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> + snadná výroba/koupe spirály (normálie) + rovnoměrnější chlazení než u plochých přepážek <ul style="list-style-type: none"> – vyšší cena než u ploché přepážky

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fontánky</p>	 <p>1 – výstup temperačního média, 2 – tvárník, 3 – fontánka, 4 – úložná plocha fontánky, 5, 6 – temperační kanály, 7 – vstup temperačního média, 8 – vstřikovaný díl, 9 – tvárnice [4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> + použití fontánky (normálie) + rovnoměrné chlazení + vhodné pro tenkostěnné díly s malým průměrem <hr/> <ul style="list-style-type: none"> – vyšší pořizovací cena – velké teplotní zatížení čela kanálu
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Contura®</p>	 <p>1 – výstup temperačního média, 2 – vstřikovaný díl, 3 – temperační kanál, 4 – tvárník, 5 – vstup temperačního média, 6 – jednotlivé vrstvy tvárníku, 7 – tvárnice [4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> + přesné kopírování tvaru i složitých výrobků → rovnoměrné rozložení teplotního pole + kanály blízko ke vstřikovanému dílu (vyšší účinnost chlazení, rychlejší odvod tepla) + vhodné pro velkosériovou výrobu + vhodné pro výrobu s vysokými nároky na kvalitu výrobků <hr/> <ul style="list-style-type: none"> – drahá/náročná výroba – dvě možnosti <ul style="list-style-type: none"> • pájení frézovaných vrstev + následné broušení vcelku) • 3D tisk z kovového materiálu metodou Laser Sintering

V případě vícenásobných forem nebo složitějších dílů se využívá kombinace temperačních systémů uvedených v tab. 3 nebo kombinace metod temperace (kanály + vodivé vložky, apod.). Doporučený teplotní rozdíl temperačního média mezi

vstupem a výstupem z formy je cca 2°C. Na obr. 29 je znázorněn temperační okruh pevné části vstřikovací formy složený z vrtaných kanálů v kombinaci s plochými přepážkami a ucpávkami na koncích vrtaných děr, kam nevstupuje temperační médium.



Obr. 29 Kombinovaný temperační okruh [4]

4.4 Vyhazovací systém [4] [5] [20]

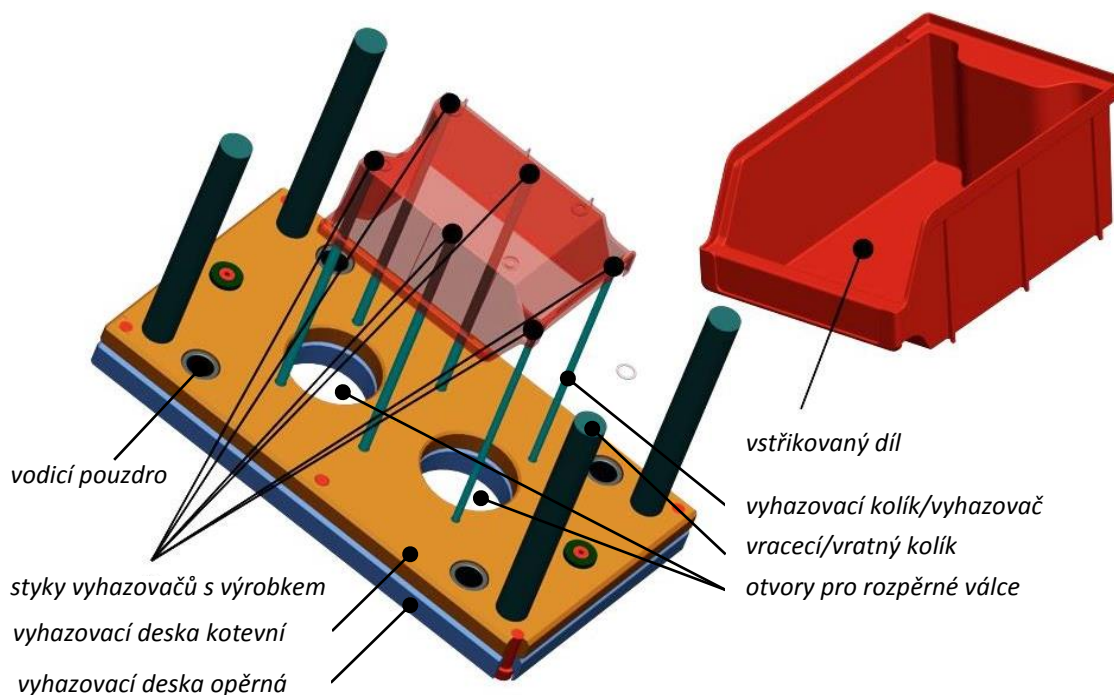
Vyhazovací systém zabezpečuje odformování výrobku z tvarové dutiny při otevření formy. O způsobu vyhazování je třeba uvažovat už při samotném návrhu dílu vzhledem ke vzhledovým plochám výrobku. Geometrie dílu spolu se vtokovou soustavou předurčují, na které straně formy výrobek během smršťování (při tuhnutí a chlazení) zůstane. Existují vyhazovací systémy umístěné jak na pohyblivé, tak i na pevné straně formy. V případě symetrických výrobků pak lze v kombinaci se vstřikováním do dělicí roviny používat i oboustranné vyhazování. Vyhazovací systémy mohou být jak mechanické (nucené), tak i hydraulické, pneumatické, magnetické nebo

kombinované, často se využívá i robotické vyjímání dílů. Velmi důležité jsou také systémy vyhazování pro podkoso, boční jádra, závity apod.

Konkrétní systém a prvky vyhazování, jejich tvar a velikosti ploch závisí zejména na vstřikovaném díle. Příliš tenké vyhazovací prvky by mohly propíchnout či zdeformovat výrobek (tenkostěnný, z měkkého materiálu nebo měkký z důvodu vysoké teploty vyhození). Poměrně často se vyhazovače dostávají na pohledové/tvarové části dílů. To vyžaduje značnou přesnost lícování s přihlédnutím k tepelné roztažnosti formy.

4.4.1 Mechanický vyhazovací systém

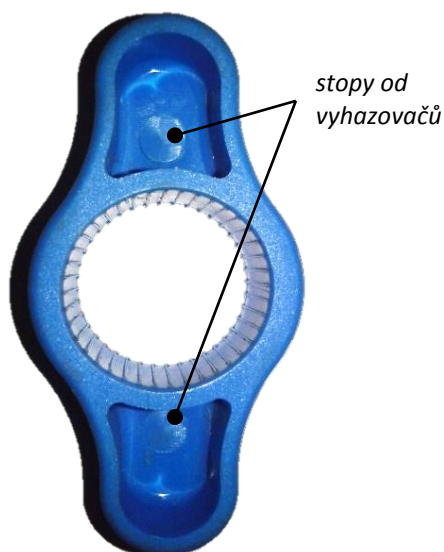
Nejčastěji se jedná se o systém desek s kolíky (viz obr. 30) z jedné strany napojený na hydraulický/pneumatický/elektrický systém vstřikovacího stroje a z druhé strany zasahující do tvaru dílu a dělicí roviny. Často je využívána také stírací deska či kroužek.



Obr. 30 Vyhazovací systém s vyhazovacími kolíky [4]

Systém s vyhazovacími kolíky je hojně využíván při vyhazování z nepohledové strany, případně při vyhazování nepohledových dílů, protože na povrchu vznikají stopy od kolíků (viz obr. 31). Kolíky mohou mít různé tvary (ploché, kruhové průřezy, trubkové) a jsou k dostání i tepelně zpracované jako normálie např. od firem KNP,

Meusbureger, Hasco apod. Tyto polotovary následně stačí zkrátit na požadovanou přesnou délku či upravit koncový tvar. (viz obr. 32)

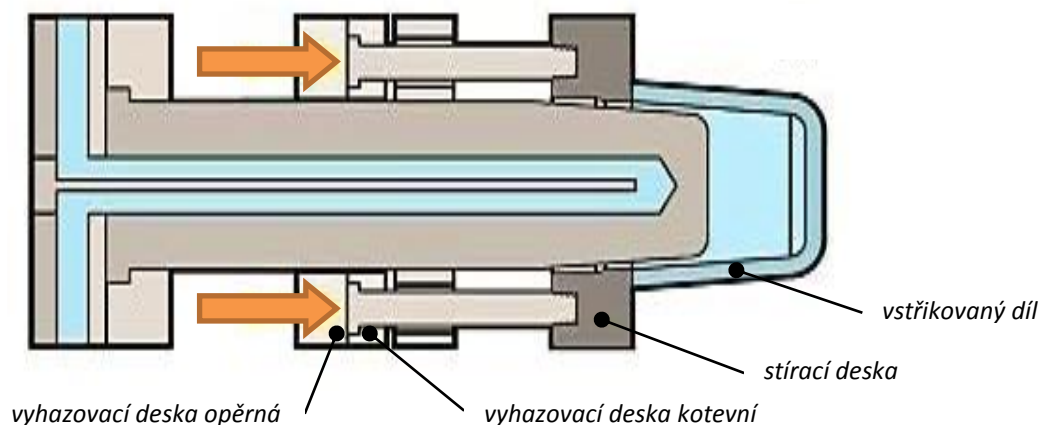


Obr. 31 Stopy od vyhazovacích kolíků



Obr. 32 Vyhazovací kolíky Meusbürger [21]

Funkce vyhazovacího systému se stírací deskou nebo se stíracími kroužky funguje na stejném principu jako vyhazovací kolíky. Stykovou plochu vyhazovací systém – výrobek (obvykle jeho okraj/lem) však tvoří stírací deska či jednotlivé stírací kroužky, které díl stahují z jádra, na které se smršťil. (viz obr. 33.)

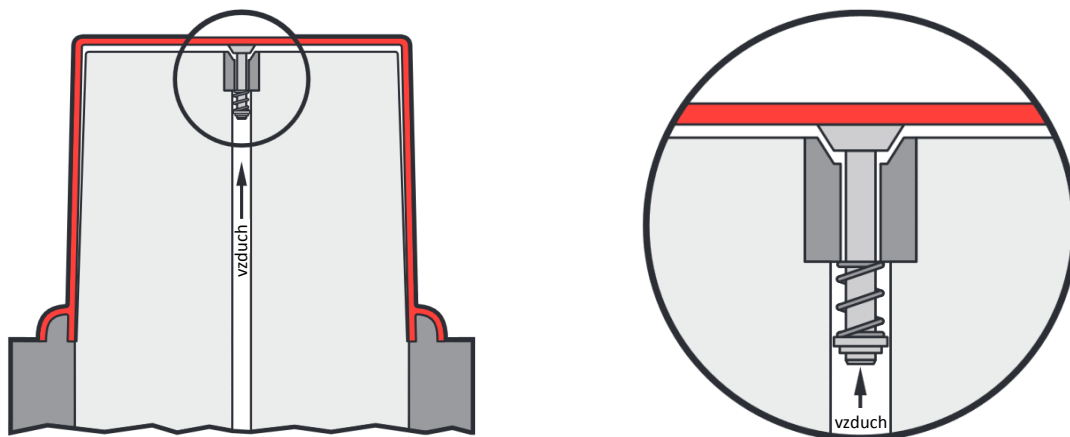


Obr. 33 Vyhazovací systém se stírací deskou [4]

4.4.2 Pneumatický vyhazovací systém

Systém stlačeného vzduchu se využívá především u tenkostěnných výrobků, u kterých by mohlo dojít k deformaci působením mechanického vyhazování nebo v kombinaci s jiným vyhazováním za účelem odlehnutí dílu od povrchu formy.

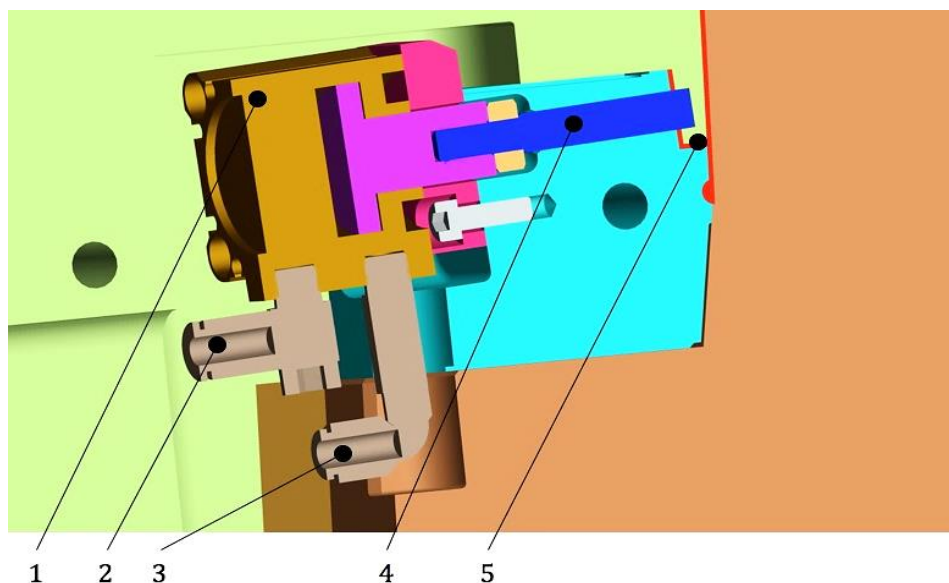
Nejčastěji je tlakový vzduch přiváděn mezi vstříknutí díl a povrch formy, aby došlo k odlehnutí výrobku od povrchu formy. V případě využití v kombinaci s mechanickými prvky, jsou stopy po vyhazovačích zanedbatelné. Nejčastěji je ventil umístěn v jádrech u dna výrobku (viz obr. 34).



Obr. 34 Vyhazování tlakovým vzduchem [5]

V praxi lze pro vyhazování využít i opačnou variantu, podtlak. Podtlak umožňuje kontrolované ulpívání výrobků na předem zvolené straně formy. Stejně jako při využití tlakového vzduchu, je podtlakový systém vyhazování často využíván v kombinaci s mechanickými prvky.

4.4.3 Hydraulický vyhazovací systém



Obr. 35 Odformování bočního otvoru hydraulickou/pneumatickou jednotkou [4]

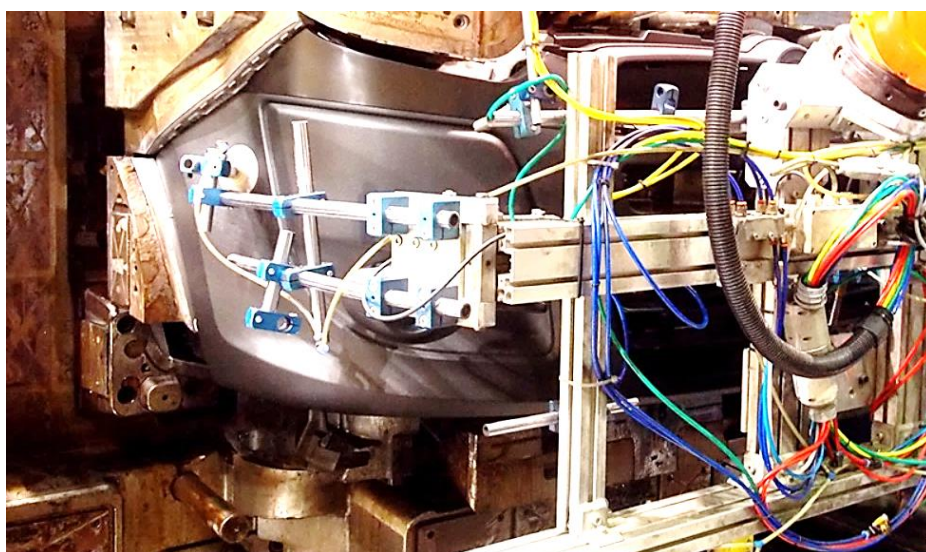
1 – pneumatický/hydraulický válec, 2,3 – přívod/odvod tlakového vzduchu/hydraulického oleje, 4 – pohyblivé jádro, 5 – vstříkovaný díl

Jedná se o uzavřenou hydraulickou jednotku zabudovanou přímo do formy. Hydraulické vyhazování se vyjímá větší vyhazovací silou a kratším a pomalejším zdvihem. Využívá se k ovládání mechanických vyhazovacích prvků, často i mechanickým prvků pro odformování bočních otvorů či podkosů. (viz obr. 35)

4.4.4 Robotické vyjímání dílů

Robotické vyjímání dílů je vhodné pro výrobu velkorozměrových výrobků. Zatímco při běžném vyhazování díly padají do prostoru pod vstřikovacím strojem/formou, robotické vyjímání umožňuje systematické skládání/stohování, oddělování studených vtokových soustav či dokončovací operace v rámci přidružených pracovišť. Obvykle se využívá v kombinaci s mechanickým nebo přetlakovým vyhazováním. (viz obr. 36)

Využívá se manipulátorů s jedním nebo dvěma stupni volnosti, ale i víceosých robotů. Technologické hlavice se používají jak mechanické, tak podtlakové.

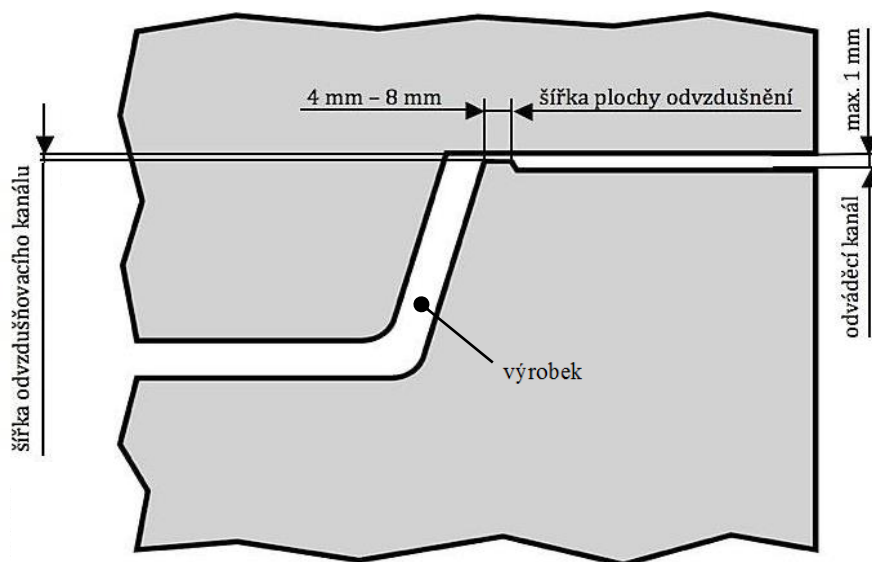


Obr. 36 Robotické vyjímání nárazníku [22]

4.5 Odvzdušnění [5] [23]

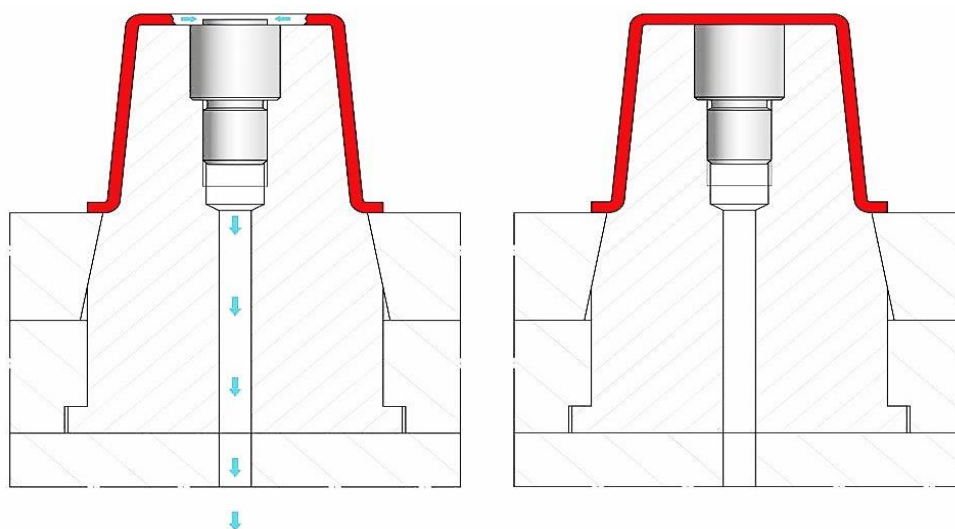
Během vstřikování je potřeba umožnit únik vzduchu z tvarové dutiny formy, a to zejména z míst, kde dochází k poslednímu naplnění dutiny formy. Případný stlačený vzduch může způsobit vady dílů, nedotečení a diesel efekt. Velmi často je dostačující zajištění odvzdušnění z dělicí roviny (viz obr. 37) a skrz vedení vyhazovačů. Při vysokých rychlostech plnění mohou být vhodné i další odvzdušňovací metody.

Odvzdušnění z dělicí roviny propojuje tvarovou dutinu a odváděcí kanál odvzdušňovacím kanálem, jehož rozměry závisí na viskozitě použitého materiálu. Šířka se pohybuje od 0,02 mm pro plasty s nízkou viskozitou – PA, PBT až po 0,1 mm pro strukturní pěny. Vůle vedení vyhazovačů dosahují stejných rozměrů, jako se pohybují šířky odvzdušňovacích kanálů.



Obr. 37 Odvzdušňování z dělicí roviny [4]

Méně používanou metodou je využití dynamických ventilů. Tyto ventily umožňují odvzdušnění otvorem o průměru několika milimetrů a jsou automaticky uzavřeny tlakem toku taveniny. Vstupní investice je vyšší, ale výhody jsou značné. Systém umožňuje rychlejší plnění dutin a nižší tlakové ztráty v tavenině bez rizika vzniku vad způsobených diesel efektem. (viz obr. 38)

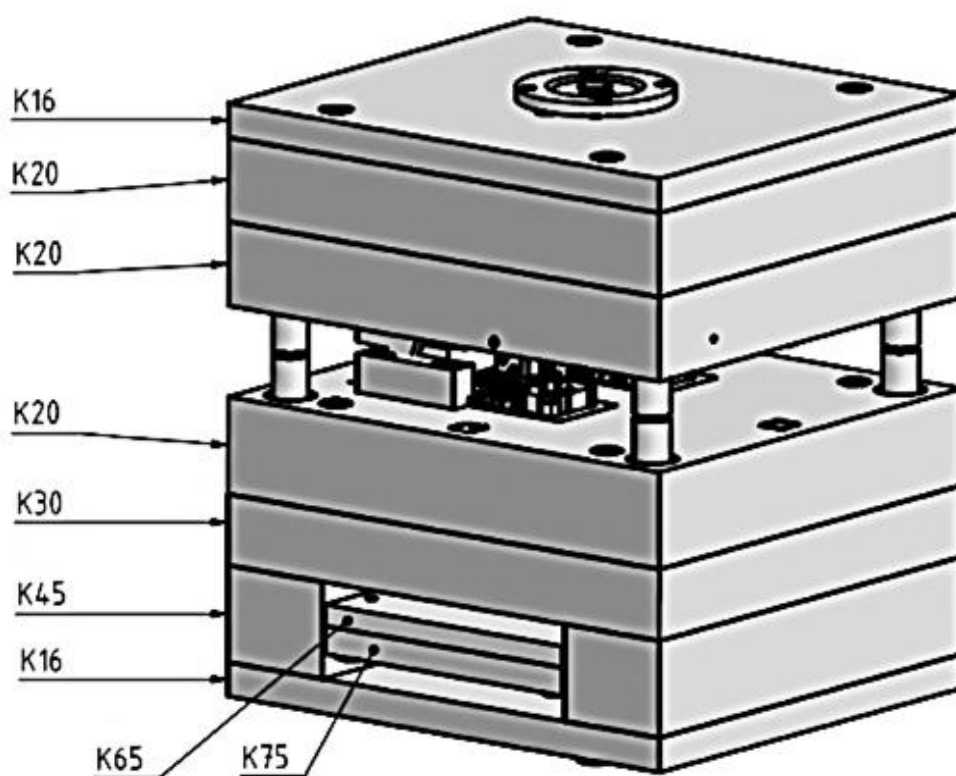


Obr. 38 Odvzdušňovací dynamický ventil [23]

4.6 Rám a ostatní normalizované prvky [21] [24]

Rám tvoří nosnou část, která zaručuje pevnost a tuhost formy, a tudíž i přesnost výroby. Jedná se zejména o desky, do kterých jsou obráběny nebo pomocí vložek vkládány funkční části forem a jejich vedení. Dále rám plní funkci zámku (ochrana dutin) při manipulaci s formou. Montážní oko bývá umístěno na horní straně formy na třmenu, který drží formu uzavřenou. Naopak spodní strana může být vybavena nožičkami (např. hlavy šroubů).

Celý systém desek je možné zkonstruovat a vyrobit dle vlastních představ nebo ho lze zakoupit v normalizovaných rozměrech. Nákup kompletních rámu může značně zrychlit/usnadnit výrobu. Příklad označení desek od firmy HASCO je na obr. 39.



Obr. 39 Příklad rámu od firmy HASCO [25]

K16 – upínací desky, K20 – tvarové desky, K30 – podložná/kotevní deska, K45 – rozpěrky, K65 – vyhazovací deska kotevní, K75 – vyhazovací deska opěrná

Co se týká normalizovaných dílů, tak je třeba zmínit také vodící sloupky a pouzdra, vedení pro vyhazovací paket, středící kroužky a spojovací elementy. Pro vtokový systém je možné koupit vtokové vložky i veškeré příslušenství horkých systémů. V rámci temperačního systému jsou dostupné přípojky na hadice, ucpávky

a výše zmíněné přepážky. Vyhazovací systémy jsou dostupné od desek, přes vyhazovače až po velmi složité celky pro vyhazování dílů s více dělicími rovinami. Již méně obvyklé příslušenství pak může zahrnovat datumovky, čidla teploty a tlaku, počítadla zdvihů, apod. Příklad normálií od firmy Meusburger je na obr. 40.

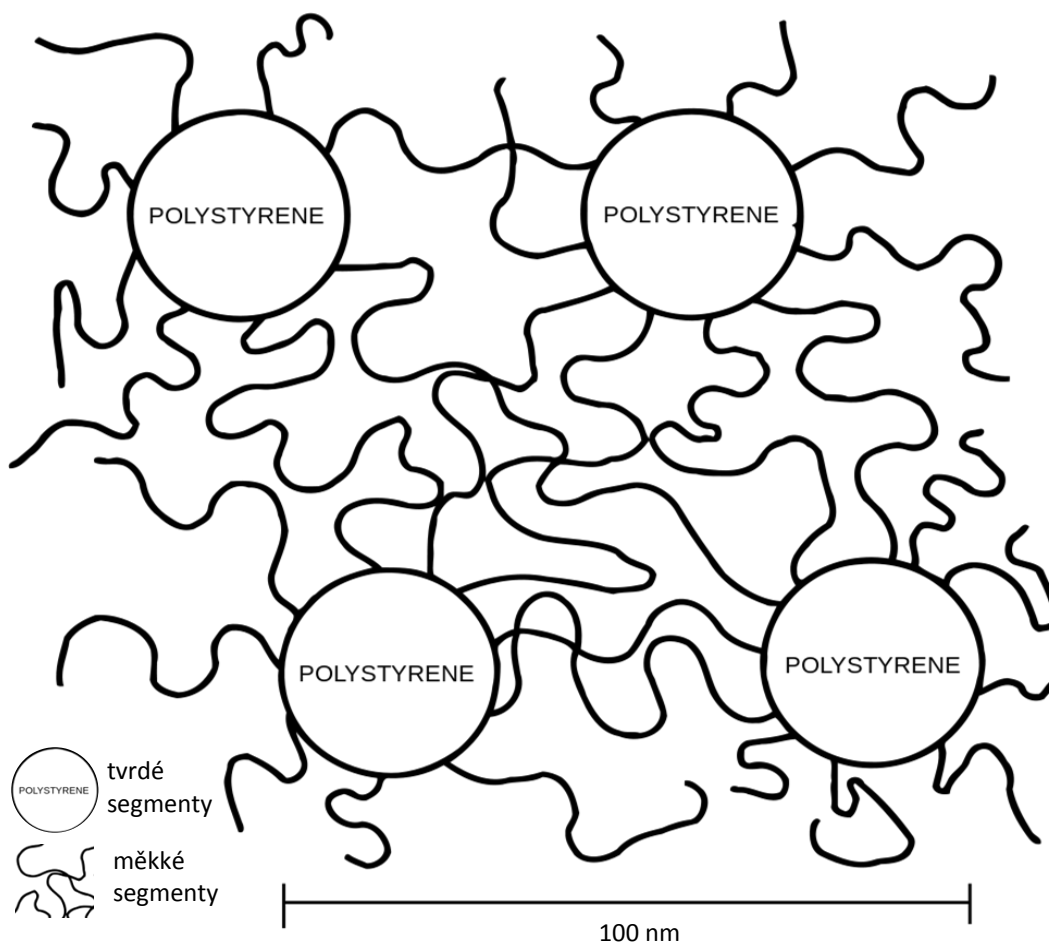


Obr. 40 Normálie Meusburger; zleva: vodící elementy, středící kroužky, prvky temperace, datumovky [21]

5 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY [26] [27] [28] [29]

Termoplastické elastomery jsou směsi nebo kopolymery termoplastů a elastomerů. Jedná se o materiály, které lze zpracovávat technologiemi pro termoplasty, tudíž i vstřikováním. Nahrazují např. měkčené PVC a pryž. Často se TPE využívá při výrobě měkkých částí napříč průmyslovými odvětvími. Konkrétně v automobilovém průmyslu jako těsnění oken, kryty přístrojových desek, dále jako dotykové části nástrojů, zubních kartáčků, per, ale i při výrobě sportovního vybavení, hraček, plášťů kabelů, střešních membrán, apod.

U těchto polymerů převládá dvoufázová struktura, tvrdé a měkké vzájemně nemísitelné segmenty. Měkké zajišťují elasticitu, zatímco tvrdé omezují vzájemnou pohyblivost měkkých segmentů, slouží jako chemické vazby. Struktura dvoufázového styrenového TPE je znázorněna na obr. 41. Výjimkou jsou např. jednofázové MPR (melt-processible rubber), TPE skládající se z ionomerů nebo TPE se strukturou jádro-obal.



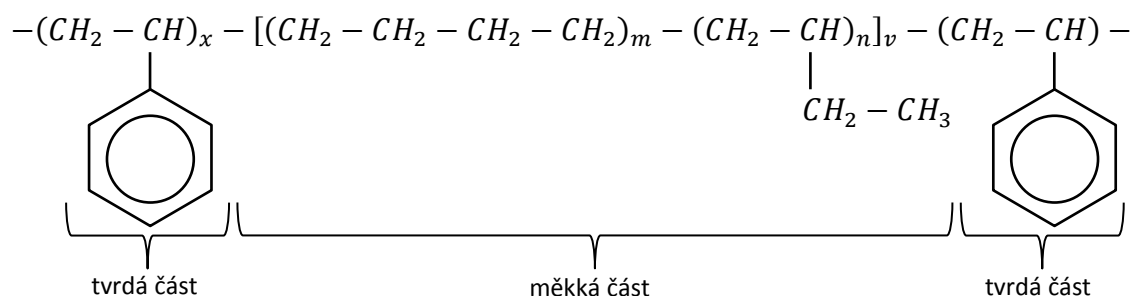
Obr. 41 Příklad struktury TPE [27]

TPE se dělí dle použité tvrdé (termoplastické) fáze, na základě které se používá i značení. Obvyklé jsou dvě varianty TPx nebo TPE-x, kde x značí tvrdou fázi. Varianta TPx odpovídá normě ČSN EN ISO 18064:2014. Bohužel se označení ne vždy shoduje. V tab. 4 jsou uvedené jednotlivé kategorie TPE včetně označení.

Tab. 4 Typy TPE

Označení	Tvrdá část
TPA (TPE-A)	polyamid
TPC (TPE-C)	polyester (polykarbonát)
TPO	polyolefiny
TPS (TPE-S)	styreny
TPU (TPE-U)	polyuretan
TPV (TPE-O)	polyolefin s vulkanizovanou gumou
TPZ	nespecifikované výše

V praktické části této diplomové práce bude použit SEBS, proto je o tomto materiálu psáno více. Termoplastický elastomer SEBS se řadí do kategorie TPS, která vzniká blokovou kopolymerací styrenu. Mezi TPS řadíme SBS a SEBS, které se liší jen jednou dvojnou vazbou. Pokud jsou molekule SBS dodány dva atomy vodíku, jsou všechny vazby v hlavním řetězci jednoduché a SEBS má zvýšenou odolnost vysokým teplotám, chemikáliím a zvýší se i mechanické vlastnosti. Na obr. 42 je chemický vzorec SEBS, kde uprostřed jsou měkké segmenty a na okrajích tvrdé styrenové části.



Obr. 42 Chemický vzorec SEBS

Z hlediska doporučených podmínek zpracování TPE platí, že vstřikování probíhá na konvenčních vstřikovacích strojích se standardními třízónovými šneky pro polyolefiny s kompresním poměrem 2:1 až 3:1. Využívá se běžných trysek stroje, na nichž by se teplota měla pohybovat okolo 225°C (pro SEBS), v případě horkých vtokových systémů by tato teplota měla být na horkém rozvodu. Rozváděcí kanály i ústí vtoku odpovídají běžným termoplastům (viz kapitola 4.2), velikost ústí se pohybuje 15-25% maximální tloušťky stěny. Přidržovač vtoku se doporučuje s podkosem (pro tvrdost TPE 40-70 Shore A). Doba plnění by neměla přesáhnout 1-2 s. Vzhledem k doporučené vysoké rychlosti vstřikování by nemělo chybět kvalitní odvzdušnění s velikostí odvzdušňovacích kanálů od 0,05 mm (obecně pro TPE), v případě potřeby i větší. Teplota formy pro TPE-S se pohybuje okolo 10-65°C dle konkrétního typu, smrštění TPE-S je 0,5-2 %. Sušení materiálu před vstřikováním není nezbytné.

Pro nastavení vstřikovacího stroje se doporučuje následující nastavení. Vstřikovací tlak 20-100 MPa, otáčky šneku 25-75 ot./min., zpětný tlak 2-10 MPa, uzavírací síla 2-8 kN/cm², doba chlazení jednotky až desítky sekund dle tloušťky výrobku a smykové tření na horní hranici technologie vstřikování (řádově 10 000-100 000 1/s).

6 PRAKTICKÁ ČÁST

S využitím znalostí z teoretické části této práce byl navržen díl, pro který byla zkonstruována a vyrobena forma pro technologii vstřikování termoplastických elastomerů. Výrobek, reklamní předmět, byl vytisknut na 3D tiskárně, aby byly včas zachyceny případné tvarové nedostatky. Pro tento díl byla navržena tvarová deska s využitím částí již existující formy. Návrh tvarové desky byl ověřen v simulačním software Sigmasoft 5.1. Tvarová deska byla vyrobena a na závěr byly ověřeny technologické parametry na dostupném vstřikovacím stroji.

6.1 Návrh předmětu

Reklamních předmětů různých tvarů i velikostí je na trhu spousta, je tak velmi složité navrhnout další, který by zaujal zákazníky. V tomto případě byl kladen důraz na funkčnost a propojení s technickým oborem Fakulty strojní TUL. Funkčnost nově vznikajícího předmětu byla inspirována jiným úspěšným reflexním předmětem. Zájem byl vyvolán platností novely zákona od února roku 2016, který dává povinnost chodcům nosit reflexní prvek na místech bez veřejného osvětlení mimo obec v případě snížené viditelnosti při pohybu po okraji vozovky. Během zavedení této novely zákona se nošení reflexních prvků zároveň stalo módním trendem ve městech. Předpokladem je využití reflexních nebo fosforeskujících aditiv, které z reklamního předmětu vytvoří funkční produkt.

Předmět by měl zaujmout, designový návrh je stěžejní, zároveň by měl být odrazem propagovaných výrobků nebo služeb, v tomto případě originálního studia zpracování plastů na Technické univerzitě v Liberci, Fakultě strojní. Strojírenských prvků je mnoho, tento předmět však bude inspirován přírodou. Fauna i flóra je často mnohem dokonalejší než lidská technika, během studia i následné praxe by neměla být opomíjena, naopak, je třeba se jí nechat inspirovat.

Gekoni, stejně jako spousta dalších ještěrek, umí odvrhnout svůj ocas, který jim částečně doroste. Vyznačují se ale zejména způsobem pohybu. Většina druhů gekonů využívá při pohybu ve svislém směru nebo dokonce hlavou vzhůru adhezních sil. Jednotlivé prsty gekona jsou opatřeny množstvím tenkých chloupků (průměr 0,2 μm), které se díky svým rozměrům dokáží přiblížit k povrchu natolik, že začnou působit mezi

povrchem a chloupky silné mezimolekulární síly. Tlapa gekona a chloupky jsou na obr. 43 a obr. 44.

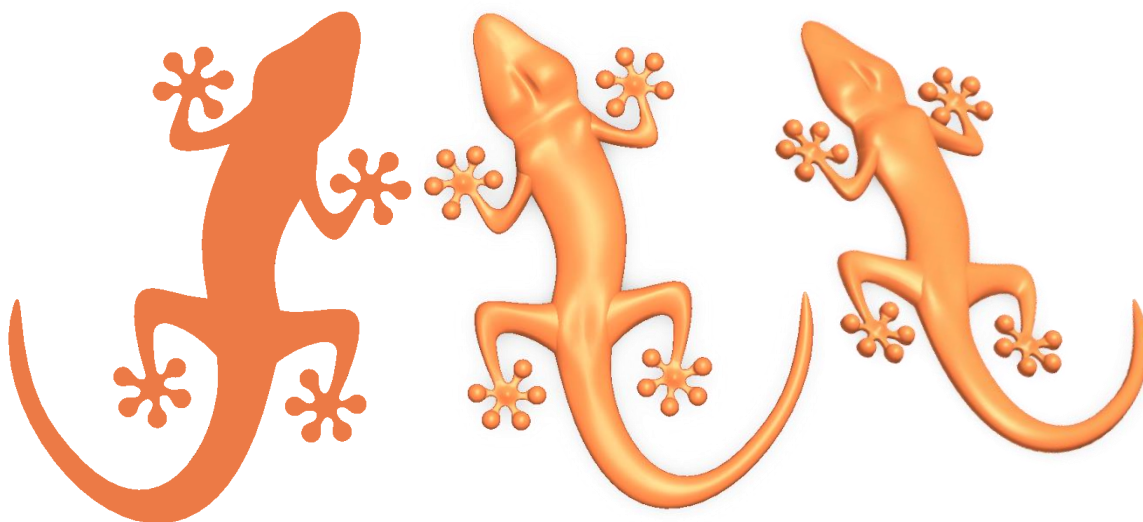


Obr. 43 Tlapa gekona [31]



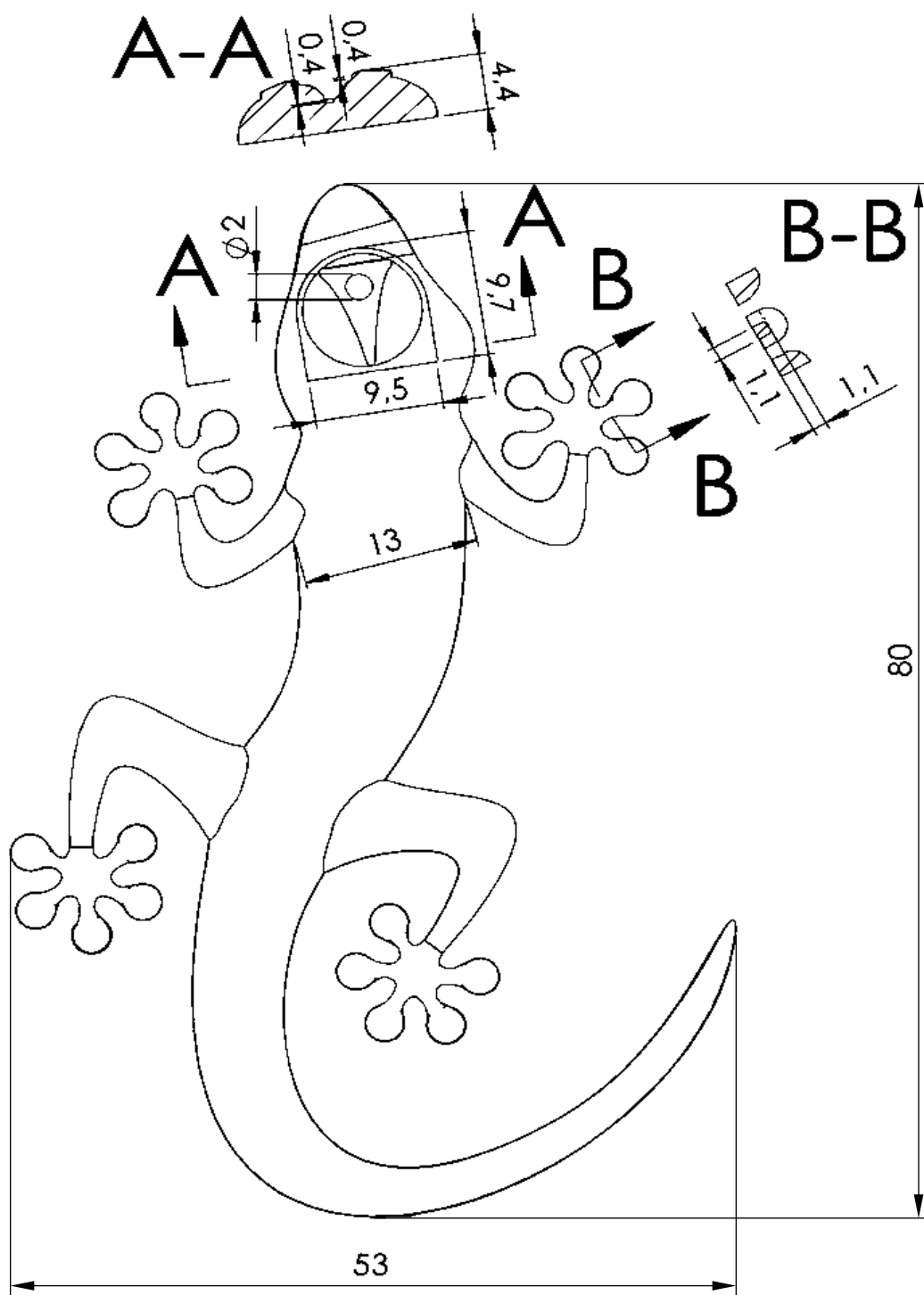
Obr. 44 Tenké chloupky na prstech gekona [32]

V modelovacím software Solidworks 2015 byl navržen gekon, jehož velké tlapky s vypouklými prsty upozorňují na téměř neuvěřitelné pohybové schopnosti této ještěrky. Model je zobrazen na obr. 45.



Obr. 45 Návrh gekona

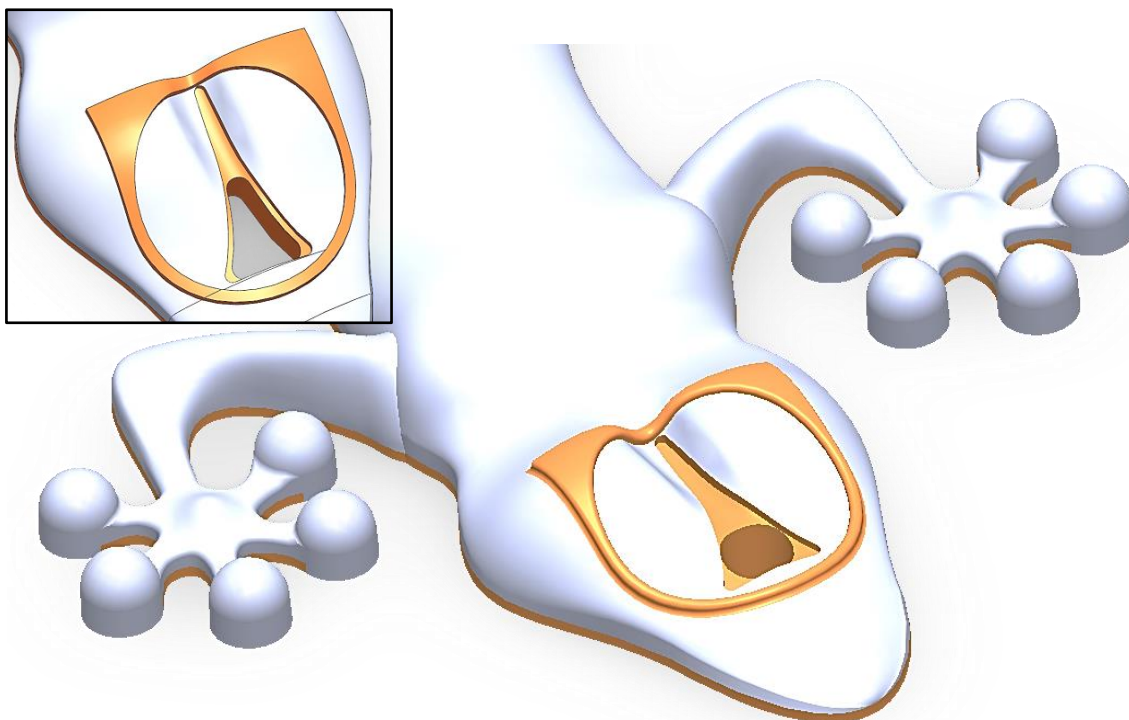
Následně byl prvotní návrh upraven. Protože se předpokládá použití předmětu jako přívěšek na klíče nebo batoh, byl určen nejdelší rozměr 80 mm. Byla zvýšena tloušťka o 0,3 mm, aby byl eliminován problém se zatečením materiálu při vstřikování. Nakonec bylo přidáno logo TUL a uvnitř loga dírka umožňující připevnění. (viz obr. 46)



Obr. 46 Základní rozměry dílu [mm]

U tvaru dírký bylo rozhodováno mezi kulatým otvorem a otvorem kopírujícím tvar loga. Jednodušší kulatý otvor dostal přednost nejenom s ohledem na výrobu, ale i z hlediska designu. Návrh obou variant je ukázán na obr. 47. Tloušťka stěny výrobku (výška) je v rozmezí od 1 mm (v místech napojení jednotlivých prstů) do 4,4 mm (na hlavě v místě rámečku loga). Všechny svislé hrany mají úkos minimálně 2°, dírká 5°. Tím je zabezpečeno bezproblémové vyjímání z formy. Zaoblení tvaru je, kromě hran

v dělicí rovině, kterou předpokládáme v úrovni břicha, minimálně 0,2 mm. Problém se zaoblením, z důvodu tečnosti ploch, vzniká ve vnitřní části loga. Předpokládá se zde minimální technologický rádius. Celková průmětná plocha gekona je 1 340 mm².



Obr. 47 Upravený návrh s logem a dírkou, vlevo nahoře druhá uvažovaná varianta

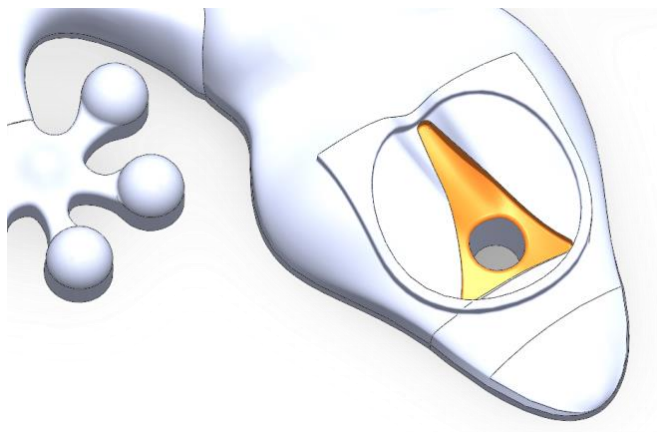
Pro ověření konstrukčního návrhu byl využit 3D tisk. Model v měřítku 1:1 byl vytisknut z kyseliny polymléčné (PLA) s krokem 0,1 mm a je uveden na obr. 48. Na vytištěném modelu zanikla vnitřní část loga (viz obr. 49), pravděpodobně by logo zanikalo i při vstřikování. Došlo tak k poslední úpravě návrhu, změně tvaru loga, zejména jeho spodní části (viz obr. 50).



Obr. 48 Návrh gekona ověřený 3D tiskem



Obr. 49 Nezřetelné logo



Obr. 50 Úprava návrhu po 3D tisku

Byl navržen reklamní předmět ve tvaru gekona o rozměrech 80x53 mm pro výrobu technologií vstřikování. Návrh byl ověřen pomocí 3D tisku a následně optimalizován do finální podoby, která zaručuje vyrobitelnost tvarové dutiny a odformovatelnost dílu.

6.2 Volba materiálu

Pro vstřikování budou využity termoplastické elastomery, díky nimž by nemělo docházet k ulamování tenkých částí, zejména jednotlivých prstů. Po konzultaci s jedním z výrobců TPE, německou firmou KRAIBURG Holding GmbH & Co. KG, byl vybrán styrenový termoplastický elastomer SEBS s tvrdostí 50 Shore A. Konkrétní označení materiálu je TF5CGT. Výňatek z materiálového listu je uveden na obr. 51.

Je možné přidávat různá barviva a aditiva, pro odzkoušení formy bylo využito 1,5 % oranžového barviva svítivého odstínu. Pro plánovanou výrobu bylo objednáno fialové barvivo svítivého odstínu s fosforeskujícím aditivem pro vyšší atraktivitu výrobků. Pro různé příležitosti je možné vyrábět různé barevné varianty.

Mechanical properties		
Hardness	50 ShoreA	DIN ISO 7619-1
Density	0.880 g/cm ³	DIN EN ISO 1183-1
Tensile Strength ¹	7.5 MPa	DIN 53504/ISO 37
Elongation at Break ¹	800 %	DIN 53504/ISO 37
Tear Resistance	13.0 N/mm	ISO 34-1 Methode B (b)(Graves)

Processing Guideline Injection Molding	
Cylinder temperature	180 - 200 - 220 °C, max. 250 °C (360 - 390 - 430 °F, max. 480 °F)
Hotrunner	Hot runner temperatures: 200 -250 °C (390 - 480 °F). The runner should be empty after a maximum of 2 - 3 shots.
Injection pressure	200 - 1000 bar (2900 - 14504 psi) (depending on the size and weight of the part).
Injection rate	In general, the fill time should not be more than 1–2 seconds.
Hold pressure	We recommend to derive the optimum hold pressure from determining the solidification point, starting with 40 % - 60 % of the required injection pressure.
Back pressure	20 - 100 bar; if color batches are used, higher back pressure is necessary.
Screw retraction	If an open nozzle is used processing with screw retraction is advisable.
Mold temperature	25 - 40 °C (77 - 104 °F)
Pre drying	Pre drying of the material is not necessary; if surface moisture forms as a result of changes in temperature, the material should be dried for 2 - 4 hours at 60 - 80 °C (140 - 175 °F).
Needle valve	With materials < 50 Shore A the use of a needle valve is advisable.
Screw geometry	Standard 3-zone polyolefine screw.
Residence time	The residence time is to be set as short as possible with a maximum of 10 minutes.
Cleaning recommendation	For cleaning and purging of the machine it is appropriate to use polypropylene or polyethylene. Machine must be PVC-free.

Obr. 51 Výňatek z materiálového listu TF5CGT [33]

Byl vybrán materiál TPE – SEBS, který se vyrábí ve velkém rozptylu tvrdostí. Byla vybrána měkká modifikace s tvrdostí 50 Shore A. Vysoká tekutost tohoto materiálu zabezpečuje naplnění i nejtenčích částí dutiny. Za účelem přidávání barviva, zejména fosforeskujícího, je potřeba transparentní materiál. I tato podmínka je použitím SEBS TF5CGT splněna. Navíc je možné SEBS zpracovávat běžnou technologií vstřikování.

6.3 Použitý vstřikovací stroj

Vybraným vstřikovacím strojem je ARBURG 270S 400-100 (viz obr. 52), který je dostupný v laboratoři zpracování plastů FS TUL. Větší stroj by zbytečně zvyšoval náklady na výrobu. Maximální uzavírací síla stroje je 400 kN (40 t), maximální

vstřikovací tlak 200 MPa (2 000 bar), maximální objem dávky 50 cm³, rozteč mezi
vodícími sloupy 270x270 mm, více z technické specifikace je uvedeno na obr. 53.



Obr. 52 Použitý vstřikovací stroj ARBURG 270S 400-100 [35]

Clamping unit				270 S		
with clamping force		max. kN		250	350	400
Opening force stroke		max. kN mm		90 350		
Mould height, fixed variable		min. mm		200 ---		
Platen daylight fixed variable		max. mm		550 ---		
Distance between tie bars (w x h)		mm		270 x 270		
Mould mounting platens (w x h)		max. mm		380 x 380		
Weight of movable mould half		max. kg		135 [200]		
Ejector force stroke		max. kN mm		20 100		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm		2,0 - 189		
	2 pumps	min. s - mm		1,2 - 189		
	Accum.	min. s - mm		1,0 - 189		
Injection unit				100		
with screw diameter		mm		20	25	30
Effective screw length		L/D		25	20	16,7
Screw stroke		max. mm		100		
Calculated stroke volume		max. cm³		31	49	71
Shot weight		max. g PS		29	45	65
Material throughput		max. kg/h PS		5,5	8	9,5
		max. kg/h PA6.6		2,8	4	4,9
Injection pressure		max. bar		2500	2000	1390
Holding pressure		max. bar		2500	2000	1390
Injection flow ²	1 pump	max. cm³/s		40 64	62 100	90 146
	2 pumps	max. cm³/s		40 64	62 100	90 146
	Accum.	max. cm³/s		172	268	388
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min		17 28	22 35	26 42
	2 pumps	max. m/min		17 28	22 35	26 42
	Accum.	max. m/min		11	14	17
Screw torque		max. Nm		120	150	180
Nozzle contact force retraction stroke		max. kN mm		50 180		
Heating capacity zones		kW		4,9 5		
Feed hopper		l		50		

Obr. 53 Výňatek z technické specifikace vstřikovacího stroje ARBURG 270S [34]

Vstřikovací stroj je limitující maximální uzavírací silou, která je 400 kN (40 t). Za předpokladu vstřikovacího tlaku do 80 MPa lze určit maximální průmětnou plochu výrobku nebo výrobků a vtokové soustavy v případě vícenásobné formy dle vztahu (1).

$$F_{umax} = p_{imax} \cdot S_{max} \quad (1)$$

F_{umax} [N] – maximální uzavírací síla vstřikovacího stroje, p_{imax} [MPa] – maximální vstřikovací tlak, S_{max} [mm²] – maximální průmětná plocha

Úpravou a dosazením do vztahu (1) se získává maximální průmětná plocha 5 000 mm².

$$S_{max} = \frac{F_{umax}}{p_{imax}} \quad (2)$$

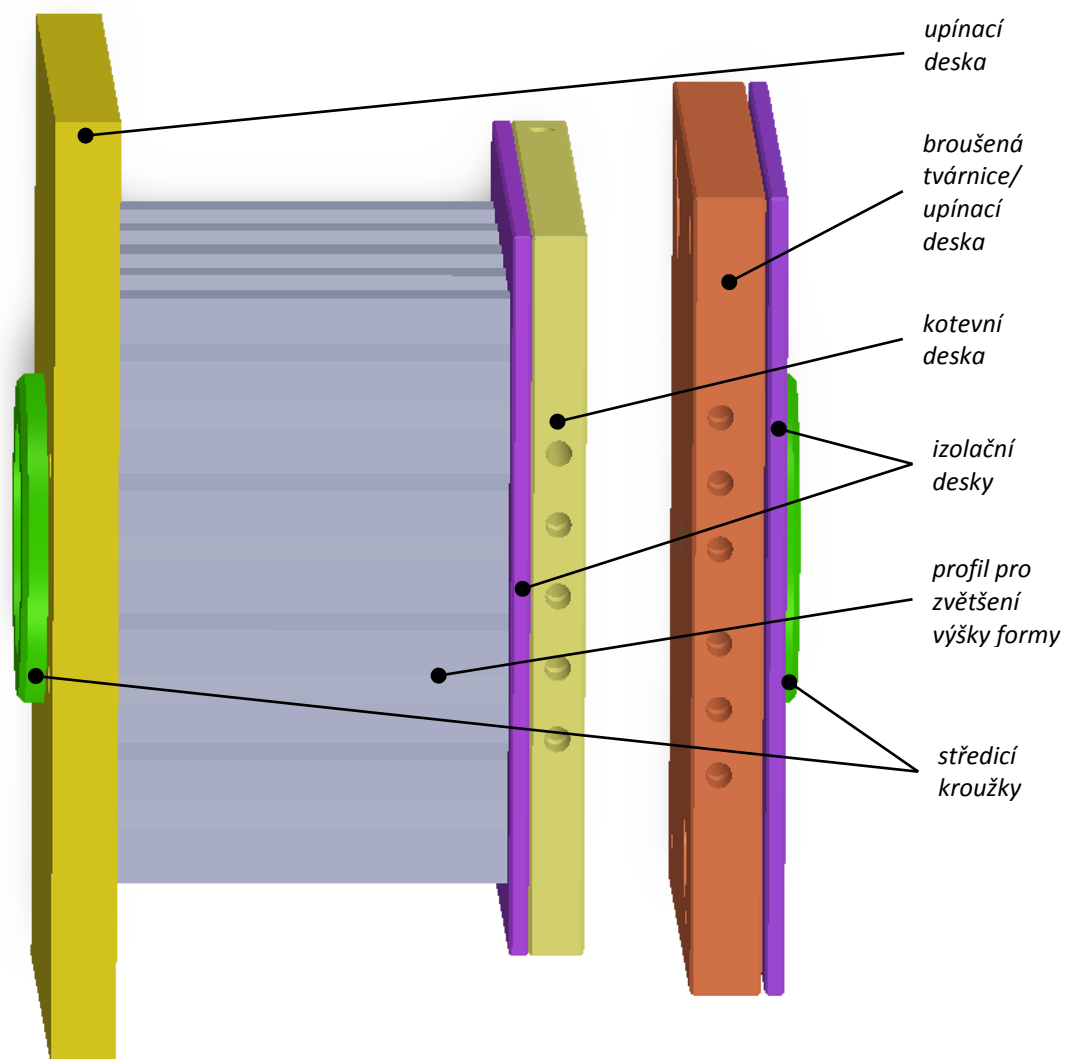
$$S_{max} = \frac{400\,000}{80} = 5\,000 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

Navržený gekon má průmětnou plochu 1 340 mm².

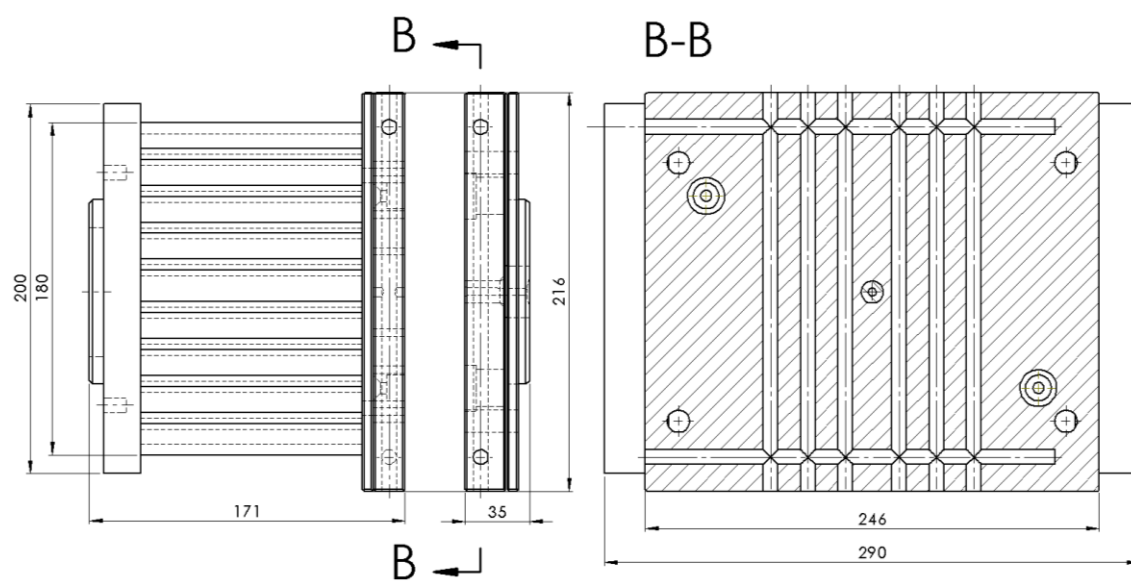
Na základě průmětné plochy dílu, 1 340 mm² byl vybrán vstřikovací stroj, který je umístěn v laboratoři zpracování plastů na FS TUL. Výpočtem bylo následně ověřeno, že i dvounásobná konstrukční varianta vstřikovací formy vyhovuje s ohledem na maximální uzavírací sílu stroje 400 kN. Při předpokladu maximálního tlaku 80 MPa (800 bar) je možné využít průmětnou plochu do velikosti 5 000 mm².

6.4 Konstrukce tvarové desky pro navržený díl

Vzhledem k tomu, že laboratoř zpracování plastů disponuje určitým počtem forem, tak bylo rozhodnuto, že se využije rám jedné ze stávajících forem (viz obr. 54 a obr. 55) a bude navržena pouze tvarová deska s dutinou a vtokovým systémem. Tvárnici je rovná broušená deska, která bude tvořit břicho gekona. Rozměr tvárníku je 210x180 mm, rozteč šroubů 170x130 mm. Předpokladem je využití středového vyhazovače průměru 5 mm, který zároveň vykonává roli přidržovače vtoku. Díky výrobě pouze jedné tvarové desky se značně sníží vstupní investice.



Obr. 54 Popis stávající formy



Obr. 55 Základní rozměry stávající formy a chladicí systém tvárnice

6.4.1 Násobnost formy

Násobnost formy je omezená uzavírací silou vstřikovacího stroje ve vztahu k průmětné ploše dílu. Zároveň se nejedná o velkosériovou výrobu. Lze předpokládat výrobu několika tisíc, v případě většího zájmu stovek tisíc kusů. S využitím již existující formy nelze předpokládat plnou automatizaci při vstřikování. Středový vyhazovač v kombinaci s TPE bude pravděpodobně nedostatečný a bude potřeba operátor, který se bude věnovat vyjímání výrobků z formy a odstraňování vtokového zbytku. Aby náklady na operátora a stroj nebyly příliš vysoké, byla zvolena dvounásobná varianta.

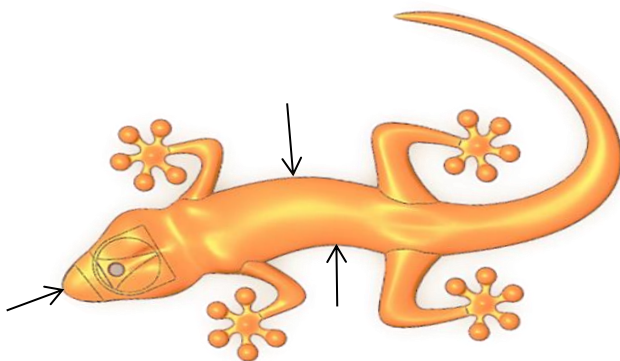
6.4.2 Vtokový systém

Vtokový systém je nedílnou součástí konstrukce tvárníku. Vtokový kužel je tvořen vtokovou vložkou, která je součástí využívané formy, délka vložky je 35 mm, průměr u trysky 3,55 mm a vrcholový úhel je 2°.

Dále byl zvolen parabolický tvar rozváděcích kanálů, který je pro TPE (předpoklad velkých tokových rychlostí) vhodný a zároveň ho lze vyrobit obráběním jen jedné desky. Průměr 4 mm vychází z maximální tloušťky stěny výrobku.

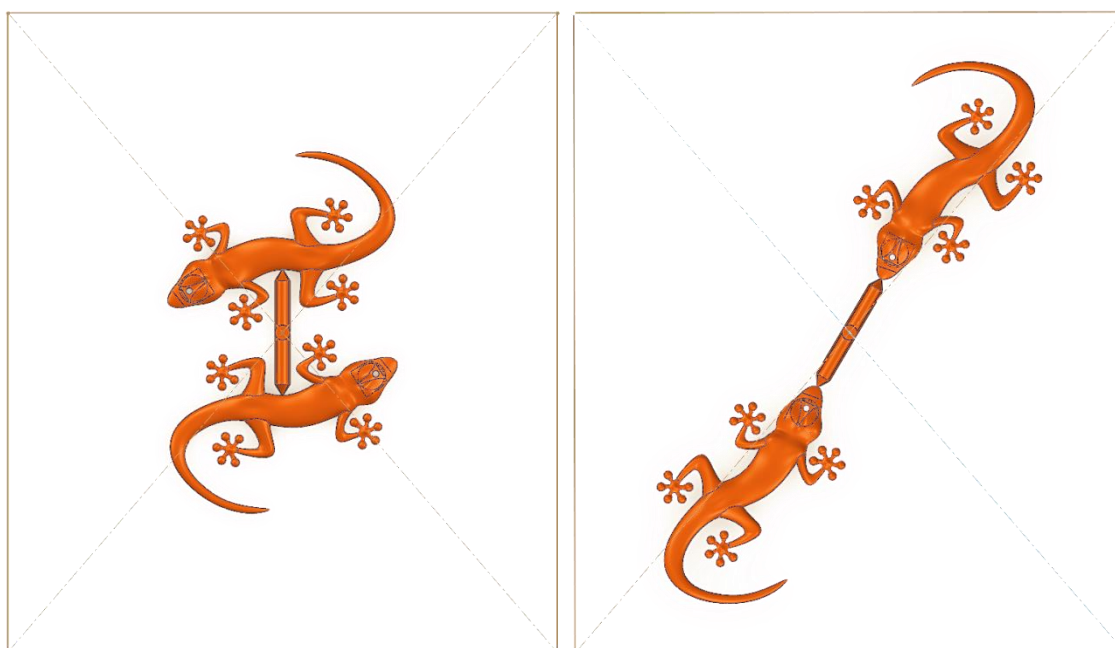
Pro vstup taveniny do tvarové dutiny bylo zvoleno malé bodové ústí (předpoklad pro TPE 0,4-0,6 mm), které je finančně nenáročné, zároveň ale umožňuje snadné oddělení vtokového zbytku od výrobků operátorem.

Ústí vtokového systému by mělo být do místa s nejtlustší stěnou, zároveň by nemělo kazit vzhledové vlastnosti výrobku. Připadají tak v úvahu tři varianty, vstřikování do těla ještěrky z jedné nebo z druhé strany a vstřikování do tlamy. (viz obr. 56)



Obr. 56 Možná místa ústí vtoku

Průměr vtokového ústí byl na základě dříve uvedených doporučení zvolen 0,6 mm. Rozmístění dílů na desce je pro případ vstřikování do tlamy nevhodné, protože forma a vstřikovací stroj by nebyly zatěžovány rovnoměrně v celé ploše a mohlo by docházet ke křížení. Na druhou stranu by tato varianta byla vhodná při využití čtyřnásobné formy, vtokový systém by byl jednoduchý a vyvážený. Z těchto důvodů se porovnají uvedené varianty (viz obr. 57) v simulačním programu Sigmasoft 5.1. Ostatní části formy včetně podložné/kotevní desky a tvárnice, v nichž se nachází vrtané chladicí kanály, se využijí ze stávající formy.



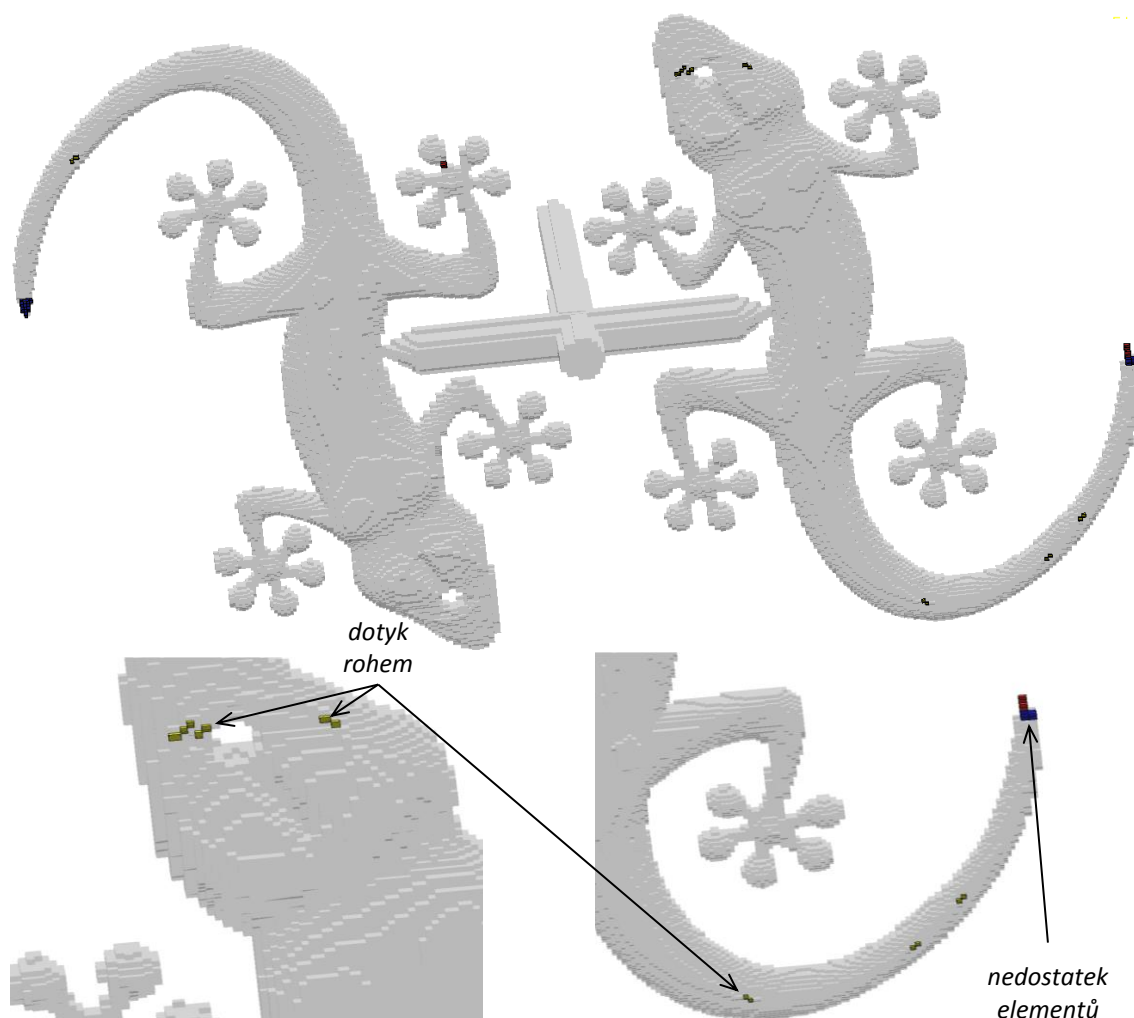
Obr. 57 Možnosti uspořádání tvarových dutin na tvárníku

Délka rozváděcích kanálů v případě ústí do těla ze „spodní strany“ je 20 mm ke každé dutině. Toto rozložení se vzhledem k délce rozváděcích kanálů a délce toku taveniny ve výrobku zdá být nejvýhodnější.

6.4.3 Ověření návrhu v simulačním software Sigmasoft 5.1 [36]

Výpočet simulace tečení a chlazení s tuhnutím vyžaduje kvalitní soustavu elementů pro výpočet. Je třeba nalézt optimální velikosti pro různé části formy. Čím menší množství elementů, tím rychleji simulace proběhne, ale tím nižší je kvalita výsledků. Software Sigmasoft umožňuje kontrolu síťování (viz obr. 58). Provedená kontrola poukazuje na drobné nedostatky síťování, které by ale neměly negativně

ovlivnit výpočet. Pro jednotlivé simulace bylo využito cca 147 tisíc elementů v dutině formy, celkově cca 1,3 milionů elementů.



Obr. 58 Kontrola kvality sítě v tvarové dutině

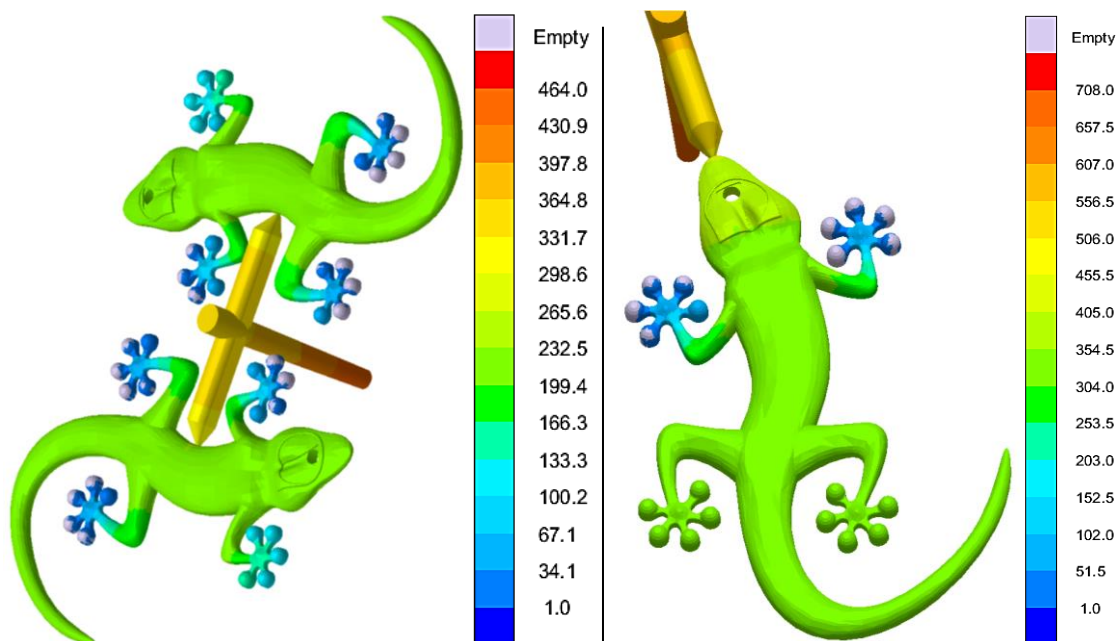
žlutá: elementy dotýkající se jen rohem, tyrkysová: elementy bez dotyku, červená – jen jeden element v tloušťce stěny, modrá: jen dva elementy v tloušťce stěny, zelená: styk se vzduchem (mimo formu)

Nejprve proběhl výběr mezi vstřikováním do těla (varianta ze spodní strany, která umožňuje kratší rozváděcí kanály) a do tlamy ještěrky. Poté byly porovnány varianty s různě velkým vtokovým ústím s ohledem na proces vstřikování a na kvalitu výrobku.

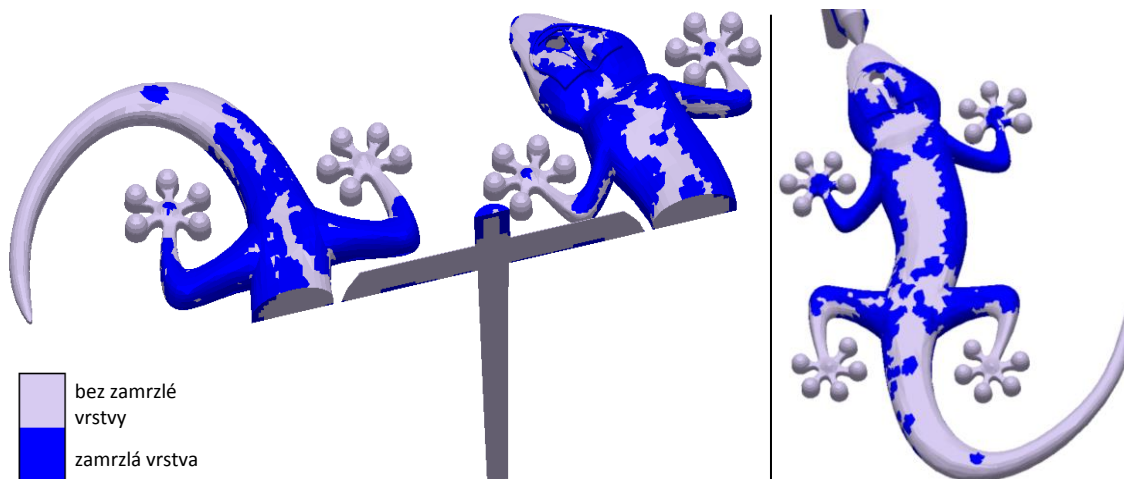
6.4.3.1 Ověření umístění vtokového ústí

Pro výběr umístění ústí vtoku byl využit totožný vtokový systém (geometrie, rozměry). Maximální doporučená doba vstřikování pro TPE je 1 až 2 s, dle velikosti a objemu dílů. Simulace vychází z doby plnění rovné 1 s, kterou lze v případě potřeby upravit. Teplota formy pro použitý SEBS je 25-40 °C, energeticky nejméně náročná

varianta je 25°C, ta bude využita pro simulaci. Rychlost toku temperačního média vychází z chování toku média, v tomto případě vody. Vhodné je turbulentní proudění, které má vyšší účinnost. Průtok byl zvolen 20 l/min v každém okruhu. Předpokládá se využití dvou okruhů, jeden v tvárnici a jeden v podložné desce.



Obr. 59 Rozložení tlaku při 98% objemu dutiny [bar] a místa posledního plnění dutiny



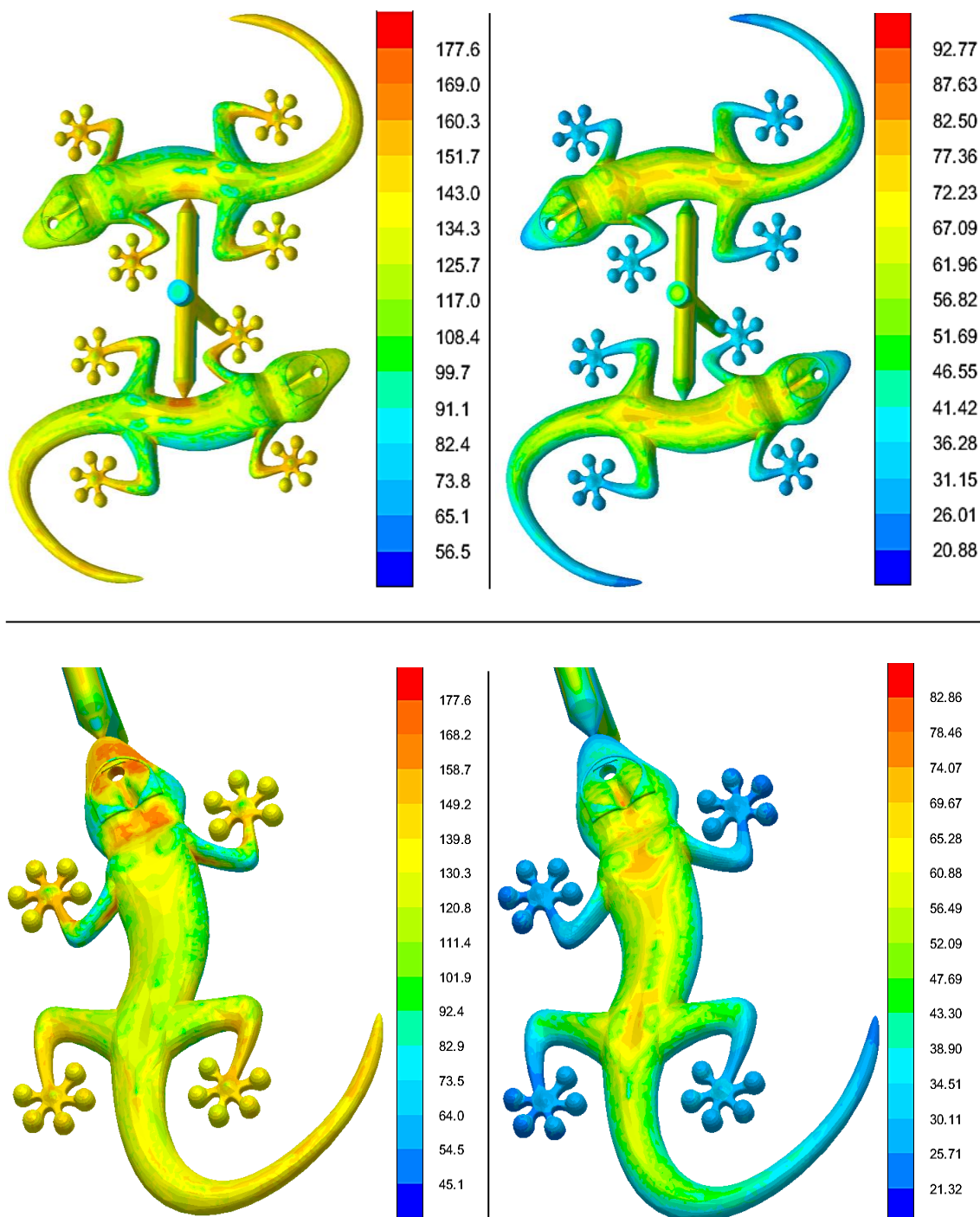
Obr. 60 Zmrzlá vrstva po naplnění dutiny v čase 1 s

Poslední místo plnění dutiny (viz obr. 59) a vznik zmrzlé vrstvy (viz obr. 60) vede k těmto závěrům:

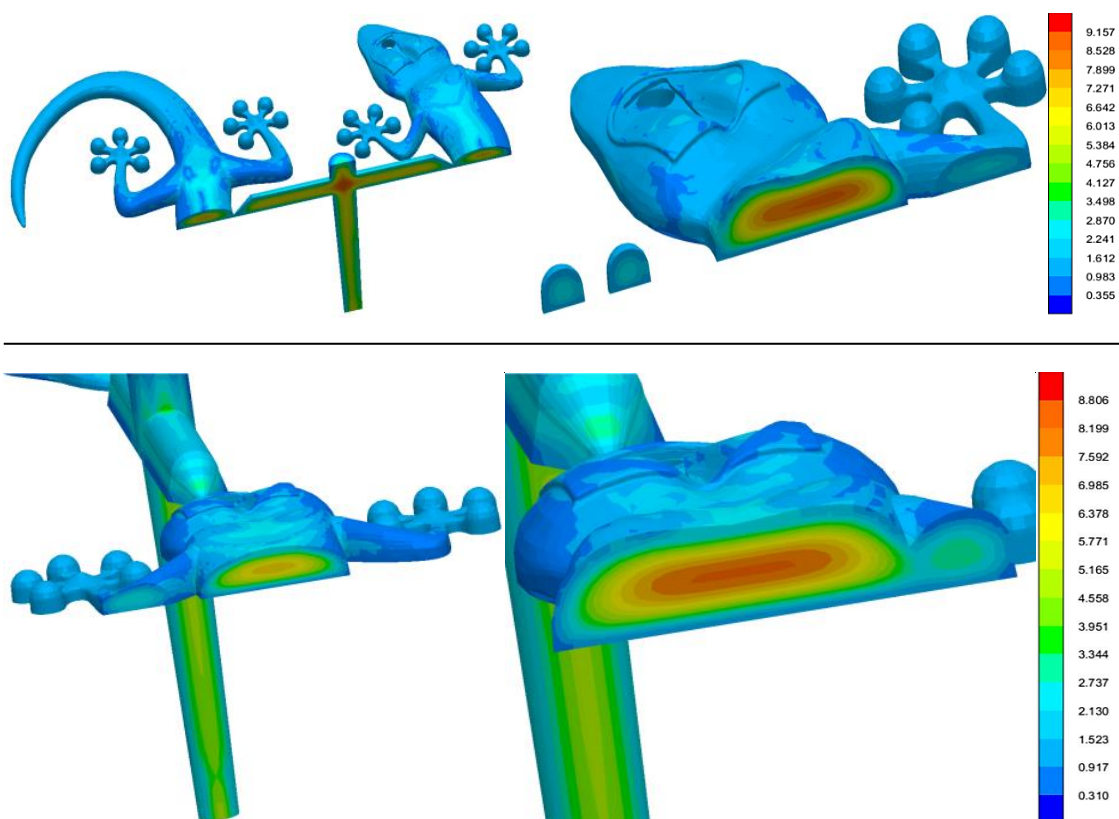
- varianta vstřikování do těla → všechny prsty
- varianta vstřikování do tlamy → prsty předních končetin, kde je zároveň zmrzlá vrstva větší než v případě vstřikování do těla → horší

Vstřikovací tlak na konci fáze tečení (doporučení výrobce: 200-1000 bar) (viz obr. 59) vede k těmto závěrům:

- do těla → 464 bar (46,4 MPa) – nízká hodnota, šlo by vstřikovat rychleji
- do tlamy → 708 bar (70,8 MPa) – vyšší, ale vyhovuje předpokladu max. 80 MPa



Obr. 61 Povrchová teplota dílů po naplnění dutiny v čase 1 s (vlevo) a v čase 6 s (vpravo) [°C]



Obr. 62 Čas tuhnutí dílů v nejtlustších místech [s]

Povrchová teplota dílů (viz obr. 61) a doba tuhnutí výrobků (viz obr. 62) vede k těmto závěrům:

- do těla → povrchová teplota klesá pomaleji a díl tuhne déle, 9,2 s
- do tlamy → povrchová teplota klesá rychleji a díl rychleji ztuhne, za 8,8 s

Povrchová teplota dílů a rychlost ztuhnutí dílů se pro jednotlivé varianty téměř neliší, tyto parametry nejsou stěžejní pro výběr konstrukční varianty.

Byla vybrána varianta se vstřikováním do těla gekona. Pro plnění je dostačující menší vstřikovací tlak, ale především se předpokládá kratší doba plnění až o 50%.

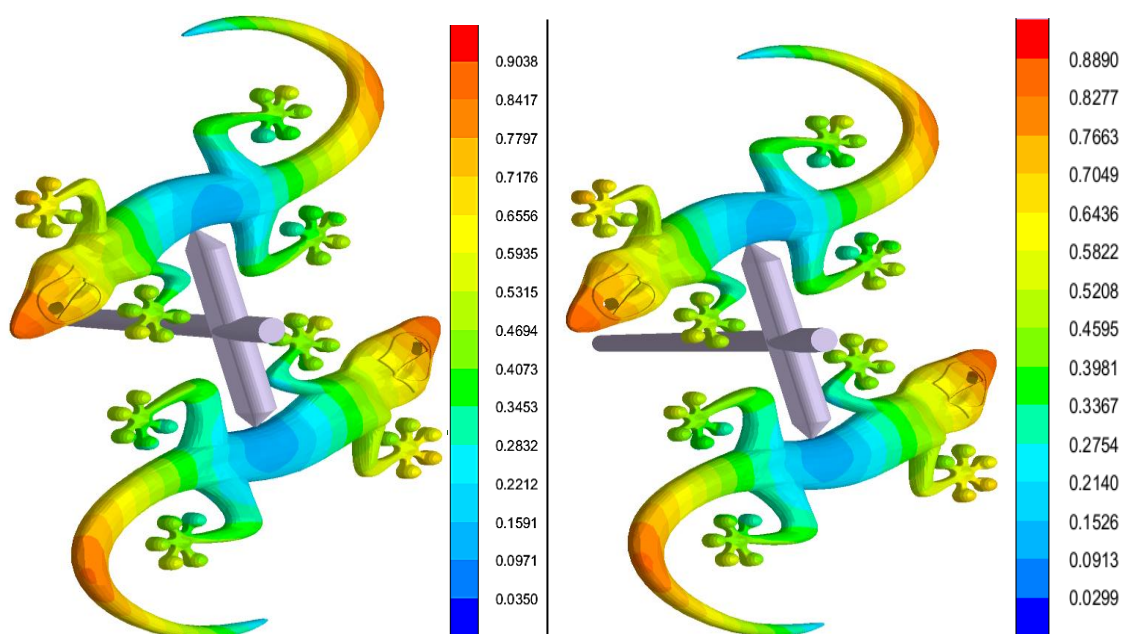
6.4.3.2 Ověření průměru ústí vtoku

Po volbě konstrukčního rozložení proběhla volba průměru ústí vtoku (doporučení pro TPE 0,4-0,6 mm). Předchozí simulace vstřikování s ústím o průměru 0,6 mm byla porovnána se simulací do ústí o průměru 0,4 mm. Vstřikovací parametry zůstaly totožné.

Pro průměr ústí 0,4 mm vznikly nepatrně větší deformace o 2% (viz obr. 63). Dotlak měl ještě menší vliv než u většího ústí, vznikly i větší propadliny, zejména na

prstech gekona. Vnitřní pnutí bylo během procesu vstřikování i po vyjmutí z formy velmi nízké do 0,6 MPa. Vnitřní smykové tření bylo největší v místě ústí vtoku, v případě průměru 0,6 mm bylo 8300 1/s, u průměru 0,4 mm 11 500 1/s. Smyková tření jsou s ohledem na vstřikování TPE vyhovující.

Vzhledem k funkci vyráběného dílu a pružnosti materiálu jsou vznikající deformace nepodstatné. Smykové tření je zejména u varianty s menším ústím poměrně velké, ale pro TPE vyhovující. Vyrobená byla varianta s průměrem ústí 0,4 mm, které je spodní hranicí doporučení výrobce. Předpokládá se tak minimální vzhledová stopa na díle a snadné oddělování vtokové soustavy od dílů. Navíc, v případě problémů se vstřikováním, je možné ústí zvětšit.

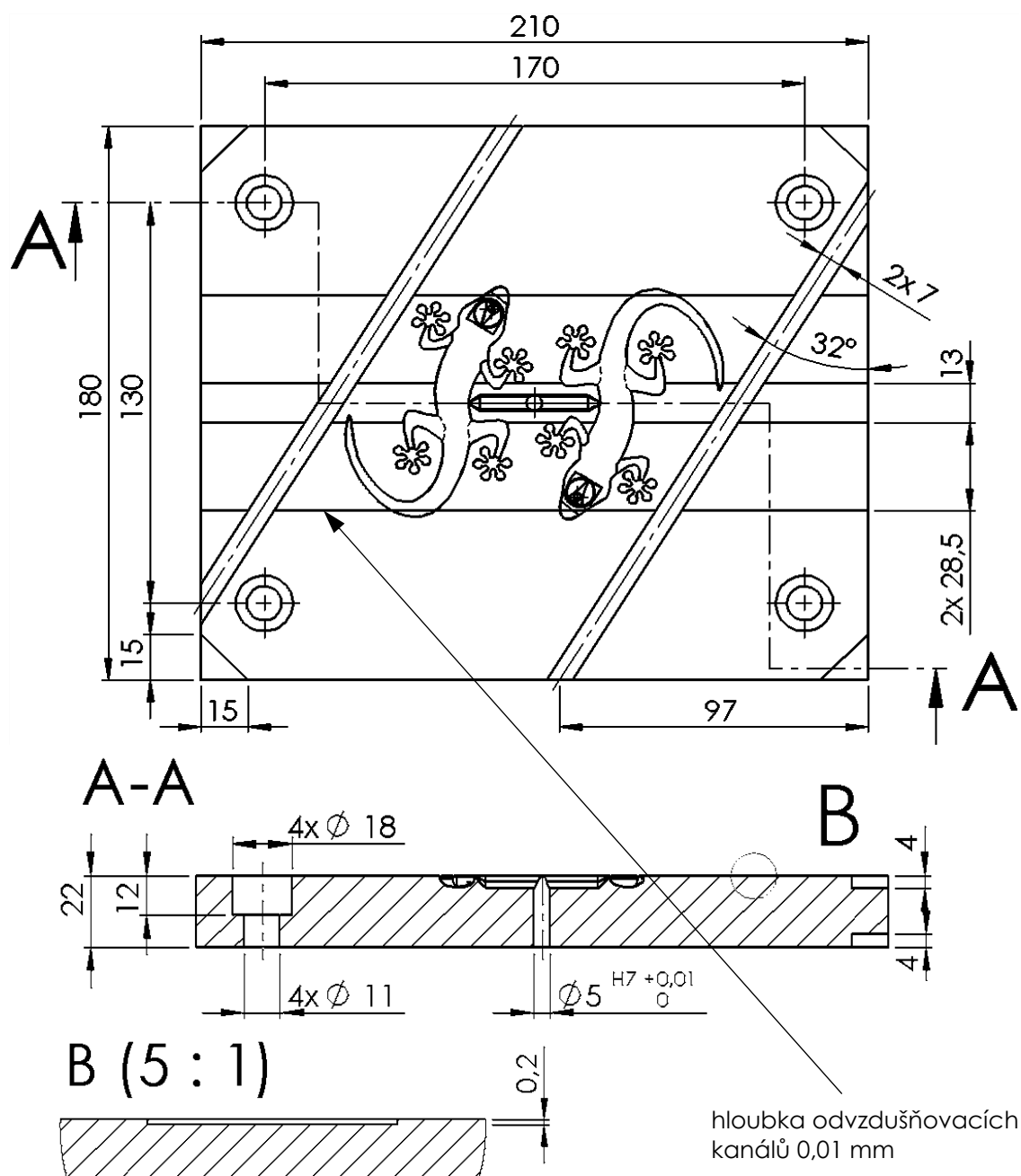


Obr. 63 Celková deformace dílů pro různá ústí vtoku: 0,4 mm (vlevo) a 0,6 mm (vpravo) [mm]

S ohledem na předpokládané množství kusů (jednotky až statisíce) a použitý vstřikovací stroj byla zkonstruována dvounásobná tvarová deska pro technologii vstřikování z TPE – SEBS. Na základě vyváženého rozložení tvarových dutin na tvarové desce a předpokladu kratší fáze plnění byla vybrána jedna z variant s ústím vtoku do těla ještěrky. Průměr ústí vtoku vycházel z doporučení výrobce a na základě provedené simulace byl zvolen průměr na spodní hranici doporučení, 0,4 mm. Případné deformace nejsou pro vyráběný díl zásadní, prioritou je naplnění celé tvarové dutiny taveninou co nejrychleji i přes kritická tenká místa včetně dostatečně rychlého ochlazení a následného snadného oddělení vtokové soustavy od výrobků.

6.5 Volba materiálu a výroba tvárníku

Tvárník, jehož rozměry vycházejí z rozměrů rámu je znázorněn na obr. 64. Deska o rozměrech 210x180x22 mm byla vyrobena z oceli 1.2343 (X38CrMoV5-1, 19 552). Nejprve proběhlo frézování na konečné vnější rozměry, vrtání upínacích děr a předvrtání středového otvoru. Po kalení následovalo broušení dosedacích ploch, výroba grafitových elektrod a elektroerozivní hloubení tvarových dutin a vtokové soustavy. Drátovým řezáním byl rozšířen otvor pro středový vyhazovač na přesný rozměr. Na závěr proběhlo broušení a frézování jednoduchého odvzdušňovacího systému.



Obr. 64 Výkres tvárníku

Pro výrobu tvárníku byla vybrána kalitelná ocel 1.2343. Díky tomuto materiálu lze předpokládat dlouhou životnost tvarové desky bez většího opotřebení. Reklamní předměty tak bude možné vyrábět při příležitostech konání různých akcí na FS TUL v následujících několika letech. Zároveň lze formu využívat při praktické výuce zpracování plastů. Životnost se při vhodné údržbě předpokládá více než 10 let.

6.6 Proces vstřikování

Vstřikovací parametry vycházejí z parametrů doporučených výrobcem a parametrů ověřených simulací. Vstřikovaný materiál navíc obsahuje 1,5 % barviva, které v simulaci není zahrnuto, tím dochází k drobným změnám tokových vlastností taveniny. Odladěné vstřikovací parametry jsou porovnány s doporučeními výrobce a s parametry ze simulace v tab. 5.

Tab. 5 Porovnání vstřikovacích parametrů

parametr	doporučení výrobce	simulace	doporučení pro výrobu
průměr šneku [mm]	—	—	25
uzavírací síla [kN]	—	—	400
rozložení teploty na válci od násypky [°C]	180 - 200 - 220 max. 250	—	45 – 190 – 210 –215 – 215 – 220
teplota formy [°C]	25 – 40	25	25
obvodová rychlost pohybu šneku [m/min]	—	—	25
objem dávky [cm ³]	—	—	13
přepnutí na dotlak	—	98 % objemu dutiny	7 [cm ³]
vstřikovací tlak [bar]	200 - 1000	do 518	do 170
čas vstřikování [s]	max. 1 – 2	1	0,65
vstřikovací rychlost [cm ³ /s]	—	7,5	10
doba dotlaku [s]	—	5	5
velikost dotlaku	začátek 40 – 60% vstřikovacího tlaku	300 [bar]	260 – 200 [bar] lineární pokles
doba chlazení [s]	—	16	20
celkový čas cyklu [s]	—	17	24
zpoždění před dávkováním [s]	—	—	10
zpětný tlak [bar]	20 – 100	—	0
dekomprese po dávkování [bar]	—	—	0

Na obr. 65 je znázorněn nastavený teplotní profil v tavicí komoře vstřikovacího stroje. Otevřená forma před vyjmutím výrobků je ukázána na obr. 66 a výsledný produkt na obr. 67.



Obr. 65 Teplotní profil v tavicí komoře



Obr. 66 Výrobky před vyjmutím z formy



Obr. 67 Výsledný díl

Proces vstřikování ověřil správnost konstrukčního návrhu tvarové vložky pro zvolený materiál a geometrii dříve navrženého dílu.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zpracována na téma: „Konstrukce vstřikovací formy pro reklamní předmět“. Práce je rozdělena na dvě hlavní části – teoretickou a praktickou.

V teoretické části práce byla provedena rešerše poznatků v oblasti návrhu dílů a konstrukce forem pro technologii vstřikování plastů. Především byly uvedeny zásady návrhu dílu pro vstřikování, obecný postup návrhu formy, vhodná volba vtokového systému, temperačního systému, vyhazovacího systému, odvzdušnění, rámu a ostatních normalizovaných prvků. Dále byla popsána struktura a použití termoplastických elastomerů, jejich rozdělení, způsob značení a specifika pro vstřikování těchto materiálů, které byly použity pro výrobu v praktické části.

V praktické části byl navržen reklamní předmět, zkonstruován tvárník pro dvounásobné vstřikování včetně vtokové soustavy. Tento návrh byl ověřen v simulačním software Sigmasoft 5.1 a byl navržen průměr ústí vtoku. Následně byla tvarová deska vyrobena z kalené oceli a vložena do formy. Na závěr byly odladěny vstřikovací parametry.

Výsledkem je dvounásobná forma pro technologii vstřikování termoplastů, která může mnoho let sloužit k výrobě reklamních předmětů pro Fakultu strojní Technické univerzity v Liberci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠAFAŘÍK, Miloslav. Nástroje pro vstřikování termoplastů. In: ŠAFAŘÍK, Miloslav. *Nástroje pro tváření kovů a plastů I*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1987. Str. 12-95. (bez ISBN).
- [2] LINDNER, E. Injection Molds In: MENNIG, Günter. *Mold-Making Handbook*. 2nd ed. Munich: Hanser, 1998. Str. 6 -46. ISBN 1 -56990-261-5.
- [3] ŘEHULKA Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON, 2005. 226s. ISBN 80-86604-18-7.
- [4] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Code Creator, s.r.o., © 2016. [vid. 28. 5. 2016]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [5] *Part and Mold Design* [online]. LANXESS, © 2016. [vid. 9. 4. 2017]. Dostupné z: https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [6] GASTROW, Hans. *Injection Molds: 130 Proven Designs*. 3rd ed. München: Hanser, 2002. ISBN: 1-56990-316-6.
- [7] *MoldMaking Technology* [online]. Gardner Business Media, Inc., © 2017. [vid. 25. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.moldmakingtechnology.com/blog/post/cooling-time-becomes-productive>
- [8] Ejection Parting line 1 and Ejection Parting line 2. In: *Tandem Technology – a simple way to save* [online]. LinkedIn, 2016. [vid. 14. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/tandem-technology-simple-way-save-wilhelm-kliwer>
- [9] HILGEHOLT, Edwin. *The Tandem Mould Technology*. [přednáška]. Brno: Konference Formy 2015, Jan Svoboda s.r.o., 27. 5. 2015.
- [10] Stack Molds. In: *A-1 Tool Corporation*. [online]. A-1 Tool Corporation. [vid. 14. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.a1toolcorp.com/products-and-services/mold-build/stack-toggle-tandem-molds>
- [11] John P. BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook – Tools for successful Injection Molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Gardner Publications, Inc., © 2007. ISBN-13: 978-1-56990-421-3.

- [12] Configurable hot runners with superior performance at an unbeatable value. In: *PRONTO Hot Runners*. [online]. Husky Injection Molding Systems Ltd., © 2017. [vid. 27. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.husky.co/EN-US/PRONTO-Overview.aspx>
- [13] Nozzles and Single nozzles. In: *THERMOPLAY S.p.A.* [online]. THERMOPLAY S.p.A. [vid. 27. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.thermoplay.it/en/products/nozzles.html>
- [14] Vyhříváný vtokový systém se sedmi jehlovými uzávěry. In: LUKEŠ, Michal. *Monitorizace tlakových procesů kaskádového vstřikování u velkorozměrových nástrojů*. Liberec, 2012. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. Dostupné z: <http://knihovna-opac.tul.cz/externalResources/theses/25746?type=0>
- [15] Hot runner system L2X Drop-in. In: *Direct Industry* [online]. Direct Industry, © 2017. [vid. 15. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ewikon-heisskanalsysteme-gmbh/product-20468-186710.html>
- [16] Temperature controller with LCD display/single-loop/hot runner - Thermoplay. In: *Direct Industry* [online]. Direct Industry, © 2017. [vid. 15. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/thermoplay/product-39566-500068.html>
- [17] DL-1B series-Thermoplay. In: *Direct Industry* [online]. Direct Industry, © 2017. [vid. 15. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.directindustry.it/prod/thermoplay/product-39566-1072145.html>
- [18] Ultra SideGate. In: *PRONTO Hot Runners* [online]. Husky Injection Molding Systems Ltd., © 2017. [vid. 15. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.husky.co/EN-US/Ultra-SideGate.aspx>
- [19] BOBEK, Jiří. *Aplikace tepelné trubice ve fázi chlazení procesu vstřikování polypropylenu*. Liberec, 2007. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. Dostupné z: <http://knihovna-opac.tul.cz/externalResources/theses/13843?type=0>

- [20] Odbor technologie tváření kovů a plastů FSI VUT v Brně [online]. *Vstříkovací formy*. © 2012. [vid. 14. 5. 2017]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [21] *Standard parts for Die and Mould making* [online]. Meusburger Georg GmbH & Co KG, © 2017. [vid. 8. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.meusburger.com>
- [22] Bumper inside the mold. In: *BPlas* [online]. BPlas, © 2013. [vid. 9. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.bplas.com.tr/tekno.aspx?tID=2#prettyPhoto>
- [23] BALZI, Damiano. A Different Approach to Mold Venting. In: *MoldMaking Technology* [online]. Gardner Business Media, Inc., © 2017. [vid. 9. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/a-different-approach-to-mold-venting>
- [24] *HASCO Portal* [online]. HASCO Hasenclever GmbH + Co KG, © 2017. [vid. 13. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/hasco/en>
- [25] Použité typy desek a jejich výška. In: HORNÍK, Tomáš. *Technologie výroby plastové základny přístroje se svorkovnicí*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: <http://docplayer.cz/23744860-Technologie-vyroby-plastove-zakladny-pristroje-se-svorkovnici.html>
- [26] BĚHÁLEK, Luboš. Termoplastické elastomery. In: BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Code Creator, s.r.o., © 2016. [vid. 15. 4. 2017]. ISBN 978-80-88058-68-7 Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/23.html>
- [27] Schematická mikrostruktura TPE-S. In: *Resinex* [online]. RESINEX Group, Czech Republic, © 2017. [vid. 10. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/tpe.html>
- [28] ČSN EN ISO 18064:2014(E). *Thermoplastic elastomers – Nomenclature and abbreviated terms*. 2nd ed. December 2014. International Organization for Standardization.
- [29] DROBNY, George Jiri. *Handbook of Thermoplastic Elastomers*. Norwich, NY: William Andrew Pub., © 2007. ISBN 978-0-8155-1549-4.
- [30] LINDNER, E. Injection Molds. In: MENNIG, Günter. *Mold-Making Handbook*. 2nd ed. Munich: Hanser, 1998. Str. 6 -46. ISBN 1-56990-261-5.
- [31] Gecko's foot. In: *Sciencephotolibrary* [online]. Volker Steger. [vid. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.sciencephoto.com/media/379170/view>

- [32] Gecko foot hairs, SEM. In: *Sciencephotolibrary* [online]. Power and Syred. [vid. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <https://www.sciencephoto.com/media/379141/view>
- [33] KRAIBURG TPE. *Datasheet TF5CGT*. © 2017.
- [34] ARBURG GmbH + Co KG [online]. *ALLROUNDER 270S 400-100*. © 2015. [vid. 23. 4. 2017]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_270S_TD_526453_en_GB.pdf
- [35] Arburg 270S-400-100. In: *Katedry strojírenské technologie* [online]. Katedry strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci, © 2011. [vid. 18. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/TACR/Vybaveni.html>
- [36] *SIGMASOFT® Version 5.1 Manual*. Sigma Engineering GmbH, © 2016.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vstřikovací stroj [4]	11
Obr. 2 Vstřikovací cyklus [3].....	12
Obr. 3 Úkosity při návrhu dílů [4].....	13
Obr. 4 Řešení tlouštěk stěn při návrhu dílů [5]	14
Obr. 5 Optické zakrytí vznikajících propadlin u žeber [5]	14
Obr. 6 Napojení výstupků [5]	14
Obr. 7 Navrhování neprůchozích otvorů [5]	15
Obr. 8 Základní funkce, činnosti a konstrukce vstřikovací formy [4].....	16
Obr. 9 Dvounásobná vstřikovací forma se vstřikováním na dělicí rovinu [11]	17
Obr. 10 Family forma pro dvě krabičky s víčky se vstřikováním na dělicí rovinu	17
Obr. 11 Dvoudeskové (vlevo) a třidedkové (vpravo) uspořádání forem	17
Obr. 12 Etážová forma [10].....	18
Obr. 13 Tandemová forma [8]	18
Obr. 14 Otevřená dvoudesková forma [4].....	19
Obr. 15 Části vtokového systému	21
Obr. 16 Řadové uspořádání vtokové soustavy	22
Obr. 17 Symetrické uspořádání vtokové soustavy	22
Obr. 18 Nepřesný kruhový vtokový kanál.....	23
Obr. 19 Možné průřezy vtokových kanálů [11]	23
Obr. 20 Předkomůrka a živý vtok.....	25
Obr. 21 Horké rozvody od Husky [12].....	26
Obr. 22 Horké trysky od Thermoplay [13]	26
Obr. 23 Studený kanál s horkou tryskou [11]	26
Obr. 24 Vyhřívaný kaskádový vtokový systém se sedmi tryskami [14]	26
Obr. 25 Popis horkého vtokového systému [15] [16]	27
Obr. 26 Vnitřní (vlevo) a vnější (vpravo) vytápění trysek [4]	27
Obr. 27 Tryska se šikmým ústím [17].....	28
Obr. 28 Tryska se čtyřnásobným bočním ústím [18]	28
Obr. 29 Kombinovaný temperační okruh [4]	33
Obr. 30 Vyhazovací systém s vyhazovacími kolíky [4]	34
Obr. 31 Stopy od vyhazovacích kolíků	35

Obr. 32 Vyhazovací kolíky Meusburger [21]	35
Obr. 33 Vyhazovací systém se stírací deskou [4]	35
Obr. 34 Vyhazování tlakovým vzduchem [5]	36
Obr. 35 Odformování bočního otvoru hydraulickou/pneumatickou jednotkou [4]	36
Obr. 36 Robotické vyjímání nárazníku [22]	37
Obr. 37 Odvzdušňování z dělicí roviny [4]	38
Obr. 38 Odvzdušňovací dynamický ventil [23]	38
Obr. 39 Příklad rámu od firmy HASCO [25]	39
Obr. 40 Normálie Meusburger; zleva: vodicí elementy, středící kroužky, prvky temperace, datumovky [21]	40
Obr. 41 Příklad struktury TPE [27]	41
Obr. 42 Chemický vzorec SEBS.....	42
Obr. 43 Tlapa gekona [31]	45
Obr. 44 Tenké chloupky na prstech gekona [32]	45
Obr. 45 Návrh gekona	45
Obr. 46 Základní rozměry dílu [mm].....	46
Obr. 47 Upravený návrh s logem a dírkou, vlevo nahoře druhá uvažovaná varianta	47
Obr. 48 Návrh gekona ověřený 3D tiskem.....	47
Obr. 49 Nezřetelné logo.....	48
Obr. 50 Úprava návrhu po 3D tisku	48
Obr. 51 Výňatek z materiálového listu TF5CGT [33].....	49
Obr. 52 Použitý vstřikovací stroj ARBURG 270S 400-100 [35].....	50
Obr. 53 Výňatek z technické specifikace vstřikovacího stroje ARBURG 270S [34].....	50
Obr. 54 Popis stávající formy	52
Obr. 55 Základní rozměry stávající formy a chladicí systém tvárnice	52
Obr. 56 Možná místa ústí vtoku.....	53
Obr. 57 Možnosti uspořádání tvarových dutin na tvárníku.....	54
Obr. 58 Kontrola kvality sítě v tvarové dutině	55
Obr. 59 Rozložení tlaku při 98% objemu dutiny [bar] a místa posledního plnění dutiny	56
Obr. 60 Zamrzlá vrstva po naplnění dutiny v čase 1 s	56
Obr. 61 Povrchová teplota dílů po naplnění dutiny v čase 1 s (vlevo) a v čase 6 s (vpravo) [°C]	57

Obr. 62 Čas tuhnutí dílů v nejtlustších místech [s]	58
Obr. 63 Celková deformace dílů pro různá ústí vtoku: 0,4 mm (vlevo) a 0,6 mm (vpravo) [mm].....	59
Obr. 64 Výkres tvárníku	60
Obr. 65 Teplotní profil v tavicí komoře.....	62
Obr. 66 Výrobky před vyjmutím z formy	62
Obr. 67 Výsledný díl	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Možnosti vtokových ústí, výhody a nevýhody [11].....	23
Tab. 2 Přímá ústí horkých systémů (trysky)	28
Tab. 3 Temperační systémy	30
Tab. 4 Typy TPE	42
Tab. 5 Porovnání vstřikovacích parametrů	61